



Entwicklung eines energetischen Sanierungsmodells für den europäischen Wohngebäudesektor unter dem Aspekt der Erstellung von Szenarien für Energie- und CO₂-Einsparpotenziale bis 2030

Patrick Hansen

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energieforschung (IEF)
Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE)

Entwicklung eines energetischen Sanierungsmodells für den europäischen Wohngebäudesektor unter dem Aspekt der Erstellung von Szenarien für Energie- und CO₂-Einsparpotenziale bis 2030

Patrick Hansen

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 48

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-89336-590-6

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek.
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche
Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the
Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Herausgeber
und Vertrieb: Forschungszentrum Jülich GmbH
Zentralbibliothek, Verlag
D-52425 Jülich
Telefon (02461) 61-5368 · Telefax (02461) 61-6103
e-mail: zb-publikation@fz-juelich.de
Internet: <http://www.fz-juelich.de/zb>

Umschlaggestaltung: Grafische Medien, Forschungszentrum Jülich GmbH

Druck: Grafische Medien, Forschungszentrum Jülich GmbH

Copyright: Forschungszentrum Jülich 2009

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment Band / Volume 48

D 467 (Diss., Siegen, Univ., 2009)

ISSN 1866-1793
ISBN 978-3-89336-590-6

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie oder
in einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder
unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Entwicklung eines energetischen Sanierungsmodells für den europäischen Wohngebäudesektor unter dem Aspekt der Erstellung von Szenarien für Energie- und CO₂-Einsparungen bis 2030

Die europäische Klimaschutzpolitik zur Senkung der CO₂-Emissionen im Gebäudesektor wird derzeit durch die Richtlinien zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, zur Effizienz von Energiedienstleistungen sowie der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie geprägt. Diese Rahmenbedingungen definieren die Grundlage für die Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz bei Alt- und Neubauten und machen Strategien zur Verminderung der CO₂-Emissionen im Wohngebäudebereich erforderlich. Derzeit weist der Gebäudebereich durch eine unzureichende Datensituation und das Fehlen realistischer Potenzialstudien, die den mangelnden Vollzug aufzeigen, entscheidende Defizite auf. Zudem ist unklar, ob mit den implementierten Richtlinien die gesetzten Minderungsziele erreicht werden können.

Vor diesem Hintergrund wird in dieser Arbeit für den europäischen Wohngebäudesektor ein Instrumentarium zur Ableitung der Energieeinsparpotenziale durch energetische Sanierungen entwickelt. Auf der Grundlage dieses Instrumentariums ist ein energetisches Sanierungsmodell für die Übertragung dieses Ansatzes auf den gesamten europäischen Wohngebäudebestand und zur Herleitung der spezifischen Energie- und CO₂-Emissionseinsparungen zu entwickeln.

Mit diesem Sanierungsmodell kann auf der Basis eines wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatzes das energetische Sanierungspotenzial im Wohngebäudebestand differenziert nach Gebäudetypen und Bauteilen ermittelt werden. Ferner können durch die Szenarien zukünftige Entwicklungen der Klimaschutzaktivitäten analysiert und bewertet werden.

Die Resultate der Minderungsszenarien zeigen eindeutig, dass die aktuell diskutierten Reduktionsziele der EU, die Emissionen bis 2020 gegenüber 1990 um mindestens 20 % zu verringern und den Wärmeanteil der erneuerbaren Energien auf mindestens 20 % zu erhöhen, ohne eine Steigerung der Sanierungsaktivitäten und den verstärkten Einsatz von erneuerbaren im Wohngebäudebestand nicht zu erreichen sind.

Development of an energy-related modernization model for the European residential buildings sector from the aspect of creating scenarios for energy and CO₂ savings up to 2030

European climate protection policy for reducing CO₂ emissions in the buildings sector is currently defined by guidelines on the overall energy efficiency of buildings, the efficiency of energy services and the guideline on renewable energy sources. This framework defines the basis for developing the demands made on thermal insulation for old and new buildings and makes it necessary to establish strategies for reducing CO₂ emissions in the residential buildings sector. At the moment, the buildings sector is characterized by considerable deficiencies due to insufficient data and the scarcity of realistic potential studies which could reveal the lack of implementation. Furthermore, it is unclear whether the legal reduction targets can be reached by means of these guidelines.

Against this background, a set of instruments will be developed in the present contribution for deriving the energy savings potential for the European residential buildings sector by means of energy-related modernization. On the basis of this set of instruments, an energy-related modernization model will be developed in order to transfer this approach to the overall European residential building stock and to derive specific savings in energy and CO₂ emissions.

Based on a probability-theory approach, this modernization model can be used to determine the energy-related modernization potential in the residential building stock in a differentiated manner according to building type and component. Furthermore, future developments in climate protection activities can be analysed and evaluated by these scenarios.

The results of the reduction scenarios show quite clearly that the EU reduction goals currently under discussion, aiming at cutting emissions by at least 20 % by 2020 in comparison to 1990 and raising the contribution of renewables to heat production to at least 20 %, will not be achieved without an intensification of modernization activities and the increased application of renewables in the stock of residential buildings.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VIII
Gleichungsverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XIII
Symbolverzeichnis	XIV
1. Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Ausgangssituation	1
1.2 Zielsetzung der Untersuchung.....	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	5
2. Technische Grundlagen zur energetischen Sanierung von Wohngebäuden	7
2.1 Thermisches Verhalten von Fassaden.....	7
2.1.1 Wärmeleitung	7
2.1.2 Wärmeübergang an Innenflächen.....	10
2.1.3 Wärmeübergang an Aussenflächen.....	12
2.2 Thermisches Verhalten von Dächern und Kellern	18
2.2.1 Dämmung des Kellers.....	18
2.2.2 Dämmung des Daches.....	19
2.3 Thermische Modellierung von Fenstern	20
2.4 Thermische Modellierung von Heizungsanlagen von der Erzeugung bis zur Verteilung.....	24
3. Methodik und Datenbasis für ein energetisches Sanierungsmodell	29
3.1 Grundlegende Anforderungen an die Methode und das Sanierungsmodell	29
3.2 Stand der Wissenschaft.....	31
3.3 Methodische Grundlagen zur Modellierung des Zeitpunkts der Sanierung	35
3.3.1 Definition der Lebensdauer.....	35
3.3.2 Das Renovierungsintervall und die technische Lebensdauer.....	37
3.4 Simulationsrechnungen zur Analyse von energetischen Sanierungen.....	39
3.4.1 Auswahl des methodischen Ansatzes	39
3.4.2 Betrachtete Effekte.....	41
3.4.3 Berechnungsansatz	42

3.5 Anforderungen an ein energetisches Sanierungsmodell	42
3.6 Eingrenzung der Analyse	45
3.7 Aufbau der Gebäudedatenbasis	46
3.7.1 Wohngebäude nach Größen- und Baualtersklassen	46
3.7.2 Wohngebäude im unsanierten Zustand	50
3.8 Heizungsdatenbasis	53
3.9 Rahmendaten	54
3.10 Szenarien und Zeithorizont	55
3.10.1 Zeithorizont	55
3.10.2 Szenarien	55
4. Die energetische Auswertung der Wohngebäudebestände der EU in der Vergangenheit	57
4.1 Ansätze zur Energiebilanzierung	57
4.2 Auswertung der gebäude- und wärmetechnischen Grunddaten	61
4.2.1 Verfügbare Daten und Auswertung	61
4.2.2 Vereinfachtes Auswertungsverfahren	66
4.3 Energiereduktion durch energetische Sanierung	78
5. Modellierung von Alterungsprozessen eines Einzelgebäudes	85
5.1 Abbildung des Alterungsprozesses	85
5.2 Verteilung der Ausfallwahrscheinlichkeiten im Alterungsprozess	87
5.5 Ausfallfreie Zeit	90
5.6 Vertrauensbereich	90
5.7 Änderung von Nutzungsanforderungen	92
6. Berechnung der Sanierungsparameter	93
6.1 Soll-Sanierungsrate	93
6.2 Bestimmung der Soll-Sanierungsrate der Baualtersklassen für ein bestimmtes Bauteil und für ein bestimmtes Jahr	98
6.3 Bestimmung der Gesamt-Soll-Sanierungsrate für alle Altersklassen und alle Bauteile	102
6.4 Soll-Energieeinsparung	104
6.4.1 Bestimmung der Soll-Energieeinsparung exemplarisch für ein bestimmtes Bauteil und ein bestimmtes Baujahr	104
6.4.2 Berechnung der Soll-Energieeinsparungen über die Altersklassen für ein bestimmtes Bauteil	106
6.4.3 Ermittlung der Gesamt-Soll-Energieeinsparungen für alle Altersklassen und Bauteile	108
6.5 Ist-Sanierungsrate	111
6.6 Ist-Energieeinsparung	113

6.7 Ableitung des Produkts der Ist-Sanierungsraten und Ist-Energieeinsparungen	114
6.8 Bewertung der Effizienz der Sanierungen mit Hilfe der Potenzialausnutzung	120
7. Entwicklung eines Sanierungsmodells	123
7.1 Modellansatz und Struktur des Modells	123
7.1.1 Modellansatz	123
7.1.2 Struktur des Modells	126
7.2 EU-Richtlinien für den europäischen Gebäudesektor	129
7.3 Wohnwirtschaftliche Parameter	132
7.3.1 Entwicklung der Wohnbevölkerung	132
7.3.2 Anzahl der Haushalte	134
7.3.3 Zukünftiger Wohnflächenbedarf	136
7.3.4 Neubaurate	140
7.4 Untersuchte Szenarien	144
7.5 Energieträgerstruktur	145
8. Klimaschutzpolitik in der Europäischen Union	149
8.1 Internationale Klimaschutzpolitik	149
8.2 Europäische Klimaschutzpolitik	150
8.3 Nationale Klimaschutzpolitik der Mitgliedsstaaten	152
8.3.1 Österreich	154
8.3.2 Belgien	156
8.3.3 Dänemark	158
8.3.4 Finnland	160
8.3.5 Frankreich	161
8.3.6 Deutschland	162
8.3.7 Griechenland	164
8.3.8 Irland	165
8.3.9 Italien	166
8.3.10 Luxemburg	168
8.3.11 Niederlande	168
8.3.12 Portugal	170
8.3.13 Spanien	171
8.3.14 Schweden	172
8.3.15 Großbritannien	174

9. Szenarien für den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen im Wohngebäudebereich der EU-15 bis 2030.....	177
9.1 Entwicklung von Energieverbrauch und CO₂-Emission im Referenzszenarios.....	177
9.2 CO₂-Minderung im Rahmen von Reduktionsszenarien	179
9.2.1 Szenario "EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie"	179
9.2.2 Szenario „Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren“	188
9.2.3 Vergleich der Szenarien.....	191
10. Zusammenfassung und kritische Würdigung.....	197
Glossar	203
Literaturverzeichnis	209
Anhang	226
Sachwortverzeichnis.....	279
Danksagung	281

Abbildungsverzeichnis

Abbildung. 2-1 : Modellierung der Wand als RC – Netzwerk	9
Abbildung 2-3 : Schema des Grenschichtprofils bei freier Konvektion.....	11
Abbildung 3-1: Methodische Entwicklung des energetischen Sanierungsmodells	44
Abbildung 3-2: Schema der Referenztypologie und der zugehörigen Elemente	49
Abbildung 4-1: Länderspezifische Anteile der beheizten Wohnflächen	64
Abbildung 4-2: Flächenspezifische Raumwärmeverbräuche für die Jahre 1990 und 2001	65
Abbildung 4-3: Mittlere Wärmeverluste des dänischen Wohngebäudebestands.....	76
Abbildung 4-4: Entwicklung der flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerte des schwedischen Wohngebäudebestands von 1970 bis 2000 für den Bestand und die Neubauten bei Einfamiliengebäuden	77
Abbildung 4-5: Entwicklung der flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerte des schwedischen Wohngebäudebestands von 1970 bis 2000 für den Bestand und die Neubauten bei Mehrfamiliengebäuden	77
Abbildung 5-1: Qualitative Beschreibung der Ausfallrate von Vakuumdämmungen.....	87
Abbildung 5-2: Ausfalldichtefunktionen mit unterschiedlichen Alterungsexponenten	89
Abbildung 5-3: Ausfalldichtefunktion und Summenausfallwahrscheinlichkeit einer Fassade des Baujahrs 1960	91
Abbildung 6-1: Zwei Renovierungszyklen einer Fassade aus der Baualtersklasse 1945 bis 1960	94
Abbildung 6-2: Jährliche Soll-Sanierungsraten ohne Wohnflächenbezug einer Fassade aus der Überlagerung von zwei Baualtersklassen	95
Abbildung 6-3: Soll-Sanierungsraten der Bauteile für den 1. Renovierungszyklus (Baujahr 1961)	98
Abbildung 6-4: Jährliche Sollsanierraten der Baualtersklassen im Zeitraum 1991 bis 2001 für den Fassadenbestand in Deutschland.....	102
Abbildung 6-5: Jährliche gesamte Soll – Energieeinsparungen durch energetische Sanierungen des Fassadenbestands aus dem Baujahr 1961 im Zeitraum 1991 bis 2001 (am Beispiel von Deutschland)	105
Abbildung 6-6: Jährliche Soll-Energieeinsparungen in TWh/a für den deutschen Fassadenbestand im Sanierungszeitraum 1991 bis 2001 gegliedert nach Baualtersklassen.....	107

Abbildung 6-7: Nationale spezifische Soll-Energieeinsparungen in kWh/(m²a) für das Bauteil Fassade in der Baualtersklasse 1946 bis 1960 im Sanierungsjahr 2001	108
Abbildung 6-8: Gesamt-Soll-Energieeinsparungen der Bauteile im Zeitraum 1991 bis 2001 in Deutschland.....	110
Abbildung 6-9 : Linearisierung der Raumwärmeverbräuche des Zeitraums 1991 bis 2001 für den Wohngebäudebestand in- Deutschland.....	114
Abbildung 6-10: Kumulierte Raumwärmereduktionen des Altbaus nach den nationalen Werten für die Ist-Sanierungsraten und den Ist-Energieeinsparungen im Zeitraum 1990 bis 2001 für die untersuchten EU-15 - Länder.....	119
Abbildung 6-11: Gegenüberstellung der erreichten kumulierten Raumwärmereduktionen des Altbaus mit den Sollwerten des Zeitraums 1990 bis 2001	121
Abbildung 6-12: Ableitung der nationalen Potenzialausnutzungen für das Jahr 2001 aus der Zeitreihenanalyse von 1990 bis 2001	122
Abbildung 7-1: Darstellung der Struktur des energetischen Sanierungsmodells	125
Abbildung 7-2: Entwicklung des Einwohneranteils der über 60-jährigen für die EU-15.....	133
Abbildung 8-1: Abweichungen der einzelnen EU-15-Länder vom Kyoto-Ziel	151
Abbildung 9-1: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Raumwärme in Alt- und Neubauten im Referenzszenario (EU-15).....	177
Abbildung 9-2: Länderspezifische Entwicklung der CO ₂ -Emissionen im Referenzszenario	178
Abbildung 9-3: Entwicklung des Raumwärmeverbrauchs bis 2030 nach dem Referenzszenario und dem Szenario "EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie"	180
Abbildung 9-4: Entwicklung der Gesamtemissionen bis 2030 nach dem Referenzszenario und dem Szenario "EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie"	181
Abbildung 9-5: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen im Szenario "EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie" bis 2030 und differenzierte Darstellung der Einsparpotenziale gegenüber dem Referenzszenario	182
Abbildung 9-6: Emissionsreduktionen der Bauteile im Szenario "EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie" bis 2030	183
Abbildung 9-7: Bauteilspezifische Anteile der CO ₂ -Emissionseinsparpotenziale in 2030	185

Abbildung 9-8: CO ₂ -Emissionseinsparpotenzial bei Ein- und Zweifamiliengebäuden im Jahr 2030	186
Abbildung 9-9: : CO ₂ -Emissionseinsparpotenzial bei Mehrfamiliengebäuden im Jahr 2030	187
Abbildung 9-10: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen im Szenario "Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren" bis 2030 und differenzierte Darstellung der Einsparpotenziale gegenüber dem Referenzszenario.....	190
Abbildung 9-11: Vergleich der Emissionsentwicklungen bis 2030	191
Abbildung 9-12: Vergleich der CO ₂ -Emissionseinsparpotenziale der EU-15 - Länder für 2012, 2020 und 2030 gegenüber 1990.....	193
Abbildung 9-13: Länderspezifische Emissionseinsparpotenziale bis 2030 bezogen auf die jeweiligen nationalen Emissionen in 1990	194
Abbildung 9-14: Bauteilspezifische Emissionseinsparpotenziale bis 2030	195

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Technische Lebensdauern von Bauteilen in Jahren für Deutschland	38
Tabelle 3-2:	Gebäudetypologie nach Gebäude-Größenklassen	46
Tabelle 3-3:	Gebäudetypologie nach Baualtersklassen	47
Tabelle 3-4:	Heizgradtage und Einteilung der Länder in Klimaregionen	50
Tabelle 3-5:	Wärmetechnische Kenndaten von Gebäuden im definierten Urzustand und nach der Sanierung auf Neubauniveau	51
Tabelle 3-6:	Nutzungsgradabschätzungen der Heizsysteme für 2005 nach dem linearen Bestandsmodell	54
Tabelle 4-1:	Maximal beheizbare Wohnfläche nach Baualtersklassen	60
Tabelle 4-2a:	2. Näherung der flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerte des Jahres 2001 von Ein- und Zweifamilienhäusern	67
Tabelle 4-2b:	2. Näherung der flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerte des Jahres 2001 von Mehrfamilienhäusern	68
Tabelle 4-3:	Raumwärmebilanz nach der [EN 832, 2003] für die Gesamtbestände der untersuchten Länder in 2001	70
Tabelle 4-4:	Mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile nach Gebäudetyp und Land (2001)	73
Tabelle 4-5:	Kennzahlen der energetischen Sanierungsverhältnisse der Bauteile der Gebäudehülle in 2001	75
Tabelle 4-6:	Flächenspezifische Raumwärmeverbrauchswerte des Wohngebäudebestands von 2001 nach Altersklassen in kWh/(m ² a)	79
Tabelle 4-7:	Flächenspezifische Energieeinsparpotenziale der Gebäudehülle	80
Tabelle 4-8:	Mittlere flächenspezifische und relative Energieeinsparungen der Bauteile (2001)	82
Tabelle 4-9:	Energie – Einsparpotenziale durch die vollständige energetische Sanierung der Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage des Wohngebäudebestands nach Gebäudetypen und zugehörigen Baualtersklassen in der EU-15 (2001)	83
Tabelle 6-1:	Ausfallfreie Zeiten und mittlere Lebensdauern für die Bauteile der Gebäudehülle in Mitteleuropa am Beispiel des Baujahrs 1919 und Vergleich der Lebensdauern	97
Tabelle 6-2:	Soll-Sanierungsrate 2001 für eine Fassade in Deutschland (Baualtersklasse 1961 bis 1980)	100

Tabelle 6-3:	Soll-Sanierungsraten der Renovierungszyklen der einzelnen Baualtersklassen für das Bauteil Fassade am Beispiel des deutschen Wohngebäudebestands im Sanierungsjahr 2001	101
Tabelle 6-4:	Sollsanierungsraten für alle Bauteile der Gebäudehülle von 1991 bis 2001 im deutschen Wohngebäudebestand	103
Tabelle 6-5:	Nationale Gesamt-Soll-Energieeinsparungen der Bauteile in 2001	110
Tabelle 6-6:	Soll- und Istsanierungsraten für alle Bauteile der Gebäudehülle von 1991 bis 2001 im deutschen Wohngebäudebestand (* Mittelwert)	112
Tabelle 6-7:	Verringerung des Raumwärmeverbrauchs des Altbaus von 1990 bis 2001 am Beispiel von Deutschland	115
Tabelle 6-8:	Raumwärmeverbrauch des Altbaus in der EU von 1990 bis 2001	116
Tabelle 7-1:	Bevölkerungsentwicklung in der EU-15 bis 2030	134
Tabelle 7-2:	Haushaltsvorausberechnungen in der EU-15 bis 2030	135
Tabelle 7-3 :	Haushaltsgrößen nach der Anzahl der Personen pro Haushalt	136
Tabelle 7-4:	Entwicklung der Wohnungszahlen bis 2030	137
Tabelle 7-5:	Entwicklung der durchschnittlichen Wohnfläche in m ² pro Person	139
Tabelle 7-6:	Wohnflächenentwicklung bis 2030 in Mio. m ²	140
Tabelle 7-7:	Neubauf Flächen in der EU-15 im Zeitraum 1991 bis 2001	141
Tabelle 7-8:	Wohnflächenneubau pro Jahr und Baualterklasse bis 2030 in Mio. m ² und Wohnungszahlen (EU-15)	143
Tabelle 7-9:	Energieträgerstrukturen der Mitgliedsstaaten für die Raumwärmeerzeugung im Jahr 2005	146
Tabelle 7-10:	Energieträgerstrukturen der Mitgliedsstaaten für die Raumwärmeerzeugung in den Szenarien des Jahres 2030	147
Tabelle 8-1:	Maximal zulässige U-Werte der länderspezifischen Bauordnungen für Neubauten in Österreich	155
Tabelle 8-2:	Maximale Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile	156
Tabelle 8-3:	Entwicklung der Anforderungen an Neubauten in Finnland	160
Tabelle 9-1:	Länderspezifische CO ₂ – Senkungspotenziale im Szenario “EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie“ bis 2030 in Prozent	184
Tabelle 9-2:	Durchschnittliche länderspezifische Steigerungsraten der primärenergetischen Anforderungen für die Bauteile der Gebäudehülle	189

Gleichungsverzeichnis

Gleichung 2-1: Partielle Differentialgleichung zweiter Ordnung nach Fourier	8
Gleichung 2-2: Herleitung des gesamten Wärmestroms.....	8
Gleichung 2-3: Berechnung der Wärmeströme zwischen den Schichten	9
Gleichung 2-4: Konvektiver Wärmestromtransport.....	10
Gleichung 2-5: Gesamter Wärmestrom durch Innenflächen infolge des Wärmestroms durch Konvektion und Strahlung	12
Gleichung 2-6: Konvektiver Wärmestrom an der Aussenfläche	13
Gleichung 2-7: Wärmestrom durch Strahlung an der Aussenfläche	14
Gleichung 2-8: Solarer Energiegewinn.....	16
Gleichung 2-9: Reduzierter Wärmestrom durch eine transparente Wärmedämmung	16
Gleichung 2-10: Verminderung des Wärmestroms durch Wärmeleitung	16
Gleichung 2-11: Einspar Differenz durch energetische Sanierung einer Fassade	17
Gleichung 2-12: Wärmestrom an Innenflächen zur Dämmung der Kellerfläche	18
Gleichung 2-13: Reduktion des Wärmestroms durch Dämmung des Kellers	18
Gleichung 2-14: Wärmestrom durch Wärmestrahlung an Außenflächen des Daches	19
Gleichung 2-15: Energiebilanz an einer 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	20
Gleichung 2-16: Berechnung des Strahlungsaustauschs zwischen den Scheiben.....	21
Gleichung 2-17: Wärmestrom durch Gasleitung und Konvektion zwischen den Scheiben	21
Gleichung 2-18: Wärmeleitung in den Scheiben	22
Gleichung 2-19: Berechnung des Wärmeübergangs an den Innen- und Aussenflächen	22
Gleichung 2-20: Berechnung des Wärmestroms durch Absorption der Sonnenstrahlung.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Gleichung 2-21: Ermittlung des Einsparpotenzials durch Sanierung der Fenster	23
Gleichungen 2-22 a und b: Nutzwärmestrom eines Wärmeerzeugers.....	25
Gleichungen 2-23a, b und c: Potenziale zur Verringerung der Wärmeverluste eines Wärmeerzeugers	26
Gleichung 2-24: Wärmestrom durch wärmedurchströmte Heizflächen	27
Gleichung 2-25: Reduzierter Wärmestrom durch Dämmung des Verteilungssystems	28
Gleichung 3-1: Definition der Lebensdauer	36
Gleichung 3-2: Definition des Renovierungsintervalls	37
Gleichung 3-3: Berechnung der mittleren technischen Lebensdauer eines Bauteils aus der Häufigkeitsverteilung.....	38

Gleichung 3-4: Berechnung der Reliabilitätsfunktion	39
Gleichungen 3-5 und 3-6: Berechnung der Alterung von Bauteilen nach dem deterministischen Ansatz	40
Gleichung 4-1: Bestimmung der Heizgradtage	58
Gleichung 4-2: Berechnung der mit dem Bevölkerungsanteil der Regionen gewichteten Heizgradtage	58
Gleichung 4-3: Erste Näherung der flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerte	66
Gleichung 4-4: Korrektur der genäherten, flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerte	67
Gleichung 4-5: Bilanzierung der Wärmeströme als Summenwerte für die Gebäudetypen und Baualtersklassen für die einzelnen Länder	69
Gleichung 4-6: 1. Näherungsberechnung der Transmissions- und Wärmebrückenverluste je Bauteil, Gebäudetyp und Altersklasse	71
Gleichung 4-7: Bildung der Differenzen für die U-Werte zwischen der Umfassungsfläche und einem beliebigen Bauteil	71
Gleichung 4-8: Bestimmung des U-Werts eines beliebigen Bauteils	72
Gleichung 4-9: Bestimmung des energetischen Sanierungsverhältnisses	74
Gleichung 4-10: Ermittlung des energetischen Energieeinsparpotenzials durch den Austausch alter Heizkessel	81
Gleichung 5-1: Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit	85
Gleichung 5-2: Bestimmung der Ausfalldichte	86
Gleichung 5-3: Herleitung der Ausfallrate	86
Gleichung 5-4: Integration der Ausfalldichte	87
Gleichung 5-5: Weibullverteilte Ausfallwahrscheinlichkeit.....	88
Gleichung 5-6: Weibullverteilte Ausfalldichte	88
Gleichungen 6-1 und 6-2: Berechnung der Soll-Sanierungsrate eines Bauteils und einem beliebigen Baujahr	96
Gleichung 6-3: Berechnung der Soll-Sanierungsrate eines Bauteils für alle Baualtersklassen.....	99
Gleichung 6-4: Berechnung der Gesamt-Sollsanierungsrate	102
Gleichung 6-5: Berechnung der Soll-Energieeinsparung für ein bestimmtes Bauteil.....	105
Gleichung 6-6: Berechnung der Soll-Energieeinsparung für ein bestimmtes Bauteil über einer Baualtersklasse	106
Gleichung 6-7: Bestimmung der Gesamt-Soll-Energieeinsparung.....	109
Gleichung 6-8: Definition der Ist-Sanierungsrate	111
Gleichung 6-9: Berechnung der Ist-Energieeinsparung	113

Gleichung 6-10: Grundsätzliche Berechnung des Produkts der Ist-Sanierungsraten und der Ist – Energieeinsparungen des Zeitraums 1990 bis 2001 mit den Bedingungen a, b und c	117
Gleichung 6-11: Bestimmung der nationalen Potenzialausnutzung im Zeitraum Δt	120
Gleichung 7-1: Jährliche Berechnung der Anzahl der Wohneinheiten	137
Gleichung 7-2: Jährliche Berechnung der mittleren Wohnfläche pro Person	138

Abkürzungsverzeichnis

ADENE	Agencia Para a Energia (Energieagentur von Portugal)
A/V – Verhältnis	Fläche / Volumen – Verhältnis
BA	Baualtersklasse,
CEN	Comité Européen de Normalisation (Europäisches Komitee für Normung)
COP	Conference of the Parties - Vertragsstaatenkonferenz zum Weltklima
EEAP	Energieeffizienz – Allokationsplan
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
EN	Europäische Norm
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EU	Europäische Union
EZFH	Ein- und Zweifamilienhäuser
KP	Kyoto-Protokoll
kWh/(m ² a)	Flächenspezifischer Energieverbrauch in Kilowattstunden pro Quadratmeter
kW	Nennleistung in Kilowatt
MFH	Mehrfamilienhäuser
Mio. t CO ₂	Kohlendioxid – Emissionen in Millionen Tonnen
NUTS-2	Nomenclature des Unités Territoriales Statistiques – 2
SAVE - Richtlinie	Begrenzung der Kohlendioxidemissionen durch eine effizientere Energienutzung
TWh	Energieverbrauch / Energieeinsparpotenzial in Terrawattstunden
UNFCCC	United Nations Framework Convention of Climate Change,
U – Werte	Wärmedurchgangskoeffizient
WBF	Wohnbauförderung in Österreich
WE	Wohneinheit

Symbolverzeichnis

A, B, C	= Zu bestimmende deterministische Parameter [-]
A_{DA}	= Dachfläche [m ²]
A_{FA}	= Fläche der Fassade [m ²]
A_{FE}	= Fensterfläche [m ²]
A_{KE}	= Kellerfläche [m ²]
α_S	= Absorptions-Koeffizient [-]
$\alpha_{S,0}$	= Absorptions-Koeffizient vor der Sanierung [-]
$\alpha_{S,1}$	= Absorptions-Koeffizient nach der Sanierung [-]
$b_{xI,i}$	= Beheizter Wohnflächenanteil des Landes x für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [%]
$Bev(t)$	= Zahl der Bevölkerung im Jahr (t) [-]
$\Delta BIP(t)$	= Änderung des Bruttoinlandsprodukts in t [-]
$BTF_{u_{xI,i}}(t)$	= Bauteilfläche für das Bauteil u des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [m ²]
$\sum_{u=1}^r BTF_{u_{xI,i}}(t)$	= Umfassungsfläche der Gebäudehülle des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I mit den Bauteilen u = 1, ..., r [m ²]
c	= Spezifische Wärmekapazität [J/(Kg K)]
c_w	= Spezifische Wärmekapazität des Wassers [J/(kg K)]
c_{1990}	= Beheizter Wohnflächenanteil im Jahr 1990 [-]
c_{2001}	= Beheizter Wohnflächenanteil im Jahr 2001 [-]
$d\vec{A}$	= Differentielles Flächenelement A [m ²]
d_s	= Dicke der Schicht s mit (s=1,...,n) [m]
d_{Spalt}	= Spaltbreite [m]

E_{1990}	= Raumwärmeverbrauch des Altbaus im Jahr 1990 [TWh]
E_{2001}	= Raumwärmeverbrauch im Haushaltssektor im Jahr 2001 [TWh]
E_{NB}	= Kumulierter Raumwärmeverbrauch des Neubaus von 1991 bis 2001 [TWh]
$EE_u(t_{SA})$	= Flächenspezifische Energieeinsparung durch energetische Sanierung des Bauteils u im Sanierungsjahr t_{SA} [kWh/(m ² a)]
$ES_{u_{xI,i}}(t)$	= Energetisches Sanierungsverhältnis des Bauteils u zum Zeitpunkt t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I des Landes x [-]
ε_{FaIF}	= Emissionsgrad der Innenfläche der Fassade [-]
ε_{FaAF}	= Emissionsgrad der äußeren Fassadenfläche [-]
$\varepsilon_{Fe,zS}$	= Emissionsgrad zwischen den Scheiben [-]
ε_H	= Emissionsgrad des Himmels [-]
ε_U	= Emissionsgrad der Umgebung [-]
$f(t)$	= Häufigkeitsverteilung für den Verlust der Funktionsfähigkeit von $t = t_{V_{\min}}$ bis. $t = t_{V_{\max}}$ [a]
$f_u(t)$	= Ausfalldichtefunktion des Bauteils u für ein beliebiges Sanierungsjahr t [%/a],
$F_u(t)$	= Ausfallwahrscheinlichkeit des Bauteils u in t [%]
$F_{uT}(t)$	= Funktion für die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Bauteils u in Nutzungszeit T [t]
g_{TWD}	= Gesamtenergiedurchlassgrad [-]
γ	= Proportionalitätsfaktor zwischen Heizkessel und Abgastemperatur [-].
h	= Höhenwinkel der Sonne [°]
HZ_{ref_x}	= Referenz der Heizgradtage für das Land x [-]
HZ_{ref_D}	= Referenz der Heizgradtage für Deutschland [-]
I_{dir}	= Direkte Sonneneinstrahlung [W/m ²]
I_{diff}	= Diffuse Sonneneinstrahlung [W/m ²]
$IEE(t_{SA})$	= Ist-Energieeinsparung durch energetische Sanierungen im Jahr t_{SA} [TWh/a]
$ISR(t_{SA})$	= Ist-Sanierungsrate im Sanierungsjahr t_{SA} [%]

$IEE \cdot ISR$	= Produkt der Ist-Energieeinsparung und der Ist-Sanierungsrate [TWh/a]
j	= j-facher Renovierungszyklus mit $j = 1, \dots, o$ [-]
k	= Baujahr k [-]
k_0	= Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient vor der Sanierung [W/(m ² K)]
k_1	= Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient nach der Sanierung [W/(m ² K)]
$k_{s,t}$	= Wärmedurchgangskoeffizient der Schicht s zum Zeitpunkt t [W/(m ² K)]
$k_s = \frac{1}{R_s} = \frac{\lambda_s}{d_s}$	= Wärmedurchlasskoeffizient der homogenen Schicht s [W/(m ² K)]
k_{konvIF}	= Innerer konvektiver Wärmeübergangskoeffizient [W/(m ² K)]
$k_{strIF, Fa}$	= Wärmeübergangskoeffizient durch Strahlung an Innenflächen [W/(m ² K)]
k_{konvAF}	= Äußerer konvektiver Wärmeübergangskoeffizient [W/(m ² K)]
$k_{konvAF, f}$	= Freier konvektiver Anteil des Wärmeübergangskoeffizienten [W/(m ² K)]
$k_{konvAF, e}$	= Erzwungener konvektiver Anteil des Wärmeübergangskoeffizienten [(W s)/(m ⁿ⁺² K)]
$k_{strAF, Fa, U}$	= Umgebungsabhängiger äußerer Wärmeübergangskoeffizient [W/(m ² K)]
$k_{strAF, Fa, H}$	= Äußerer Wärmeübergangskoeffizient des Himmels [W/(m ² K)]
K_u	= Anfangsverlust der Funktionsfähigkeit des Bauteils u [-]
l	= Baualtersklasse l mit $l = 1, \dots, r$ [-]
λ	= Wärmeleitfähigkeit [W/(m K)],
λ_s	= Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit der Schicht s [W/(m K)]
$\lambda \cdot grad(T)$	= Wärmestromdichte [W/m]
$\lambda_{WL, konv}$	= Wärmeleitfähigkeit des Scheibenzwischenraums [W/(m K)]
$\lambda_{str, zS}$	= Wärmeleitfähigkeit des Scheibenzwischenraums durch Strahlung [W/(m K)]
ρ	= Dichte [kg/m ³]
ρ_w	= Dichte des Wassers [kg/m ³]
ρ_E	= Reflexionsvermögen der Erde [-]
m	= Alterungsexponent [-]
$n_{konv, e}$	= Exponent der Geschwindigkeit des erzwungenen konvektiven Anteils [-]

$\eta_{xI,i}(t)$	= Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [-]
$\eta_{HxI,i}(t)$	= Nutzungsgrad des Heizkessels des Landes x zum Zeitpunkt t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [-]
$\eta_{Hxm}(t)$	= Mittlerer Nutzungsgrad des Heizkessels des Landes x zum Zeitpunkt t [-]
$\eta_{HBxI,i}(t)$	= Nutzungsgrad des Brennwertheizkessels des Landes x zum Zeitpunkt t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [-]
σ	= Stefan-Boltzmann-Konstante [W/(m ² K ⁴)]
φ	= Einstrahlungswinkel zwischen der Sonne und der Fassade [°]
$PA(\Delta t)$	= Potenzialausnutzung des Landes x im Zeitraum Δt [-]
$Personen(t)$	= Anzahl der Personen im Jahr (t) [-]
$\frac{Personen}{WE}(t)$	= Anzahl der Personen pro Wohneinheit im Berechnungsjahr t [Personen/WE]
$\frac{Personen}{WE}(t_{-1})$	= Anzahl der Personen pro Wohneinheit im Jahr zuvor t_{-1} [Personen/WE]
$pe(b)$	= Periodisch durchströmte Heizrohre mit der Anzahl b [-]
$P_u(\bar{T} > t)$	= Wahrscheinlichkeit des Verlusts der Funktionsfähigkeit nach T [%]
$P_u(T \leq t)$	= Wahrscheinlichkeit des Verlusts der Funktionsfähigkeit in T [%]
$q_u(t)$	= Ausfallrate des Bauteils u in t [a]
$q_{Abg,n,t}$	= Nennabgasverluste zum Zeitpunkt t [-]
$q_{str,n,t}$	= Nennstrahlungsverluste zum Zeitpunkt t [-]
$q_{B,n,t}$	= Nennbereitschaftsverluste zum Zeitpunkt t [-]
$Q_{GxI,i}(t)$	= Wärmegewinne des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [TWh/a]
$Q_{IRWxI,i}(t)$	= Flächenspezifischer Raumwärmeverbrauchswert des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp j und die Baualtersklasse I [kWh/(m ² a)]
$Q_{IRWDI,i}(t)$	= Flächenspezifischer Raumwärmeverbrauchswert für Deutschland im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [Wh/(m ² a)]

$Q_{II\,RW_{xL,i}}(t)$	= Korrigierter flächenspezifischer Raumwärmeverbrauchswert des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [kWh/(m ² a)]
$Q_{L_{xL,i}}(t)$	= Wärmeverlust durch Lüftung des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [TWh/a]
$Q_{RW_x}(t)$	= Gesamter Raumwärmeverbrauch für den Wohngebäudesektor des Landes x im Jahr t [kWh/(m ² a)]
$Q^*_{u_{xL,i}}(t_{x_e})$	= Wärmeverlust für Transmissionen und Wärmebrücken durch das Bauteil u des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I in Abhängigkeit des Zustands t_{x_e} [TWh/a]
$Q^*_{xL,i}(t)$	= Resultierender Wärmeverlust für Transmissionen und Wärmebrücken für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I des Landes x im Jahr t [TWh/a]
\dot{q}	= Wärmequellendichte [W/m ³]
\dot{Q}	= Herleitung des gesamten Wärmestroms durch die Fläche A [W]
\dot{Q}_s	= Wärmestrom von der Schicht s zur Schicht s+1 [W]
\dot{Q}_{s-1}	= Wärmestrom von der Schicht s-1 zur Schicht s [W]
\dot{Q}_{absFe}	= Summe des absorbierten Wärmestroms durch Sonnenstrahlung [W]
\dot{Q}_{AFFe}	= Windabhängige Konvektion an der Außenfläche des Fensters [W]
$\dot{Q}_{AFFa,konv}$	= Konvektiver Wärmestrom an der Innenfläche der Fassade [W]
$\dot{Q}_{AFFa,konv}$	= Konvektiver Wärmestrom an der Aussenfläche der Fassade [W]
$\dot{Q}_{AFFa,str}$	= Gesamter Wärmestrom an der äußeren Fläche durch Wärmestrahlung [W]
\dot{Q}_{IFFe}	= Konvektiver Wärmestrom an der Innenfläche des Fensters [W]
$\dot{Q}_{IFFa,konv}$	= Konvektiver Wärmestrom durch Innenflächen [W]
$\dot{Q}_{konvFe,zS}$	= Konvektion zwischen den Scheiben [W]
$\dot{Q}_{strFe,zS}$	= Wärmestrahlung zwischen den Scheiben [W]
$\dot{Q}_{WLFe,iS}$	= Wärmeleitung in einer Scheibe [W]
$\dot{Q}_{WLFe,zS}$	= Wärmeleitung zwischen den Scheiben [W]

$\Delta\dot{Q}_B$	= Energieeinsparung bei verringerten Bereitschaftsverlusten [W]
$\Delta\dot{Q}_{Abg}$	= Energieeinsparung bei verringerten Abgasverlusten [W]
$\Delta Q_{H_{x,l,i}}(t)$	= Raumwärmeeinsparpotenzial durch den Austausch der Heizkessel zum Zeitpunkt t für das Land x für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse l [TWh]
$\Delta\dot{Q}_{S,Fa}$	= Einspardifferenz durch energetische Sanierung der Fassade [W]
$\Delta\dot{Q}_{SKe}$	= Energieeinspardifferenz durch Dämmung der Kellerdecke [W]
$\Delta\dot{Q}_{Str}$	= Energieeinsparung bei verringerten Strahlungsverlusten [W]
$\Delta\dot{Q}_{WL,Fa}$	= Reduktion der Wärmeströme durch Wärmeleitung an Fassaden [W]
$\Delta\dot{Q}_{WÜ,Fa}$	= Reduktion der Wärmeströme durch Wärmeübergang an Fassaden [W]
$\Delta\dot{Q}_{WÜ}$	= Reduzierter Wärmestrom durch transparente Wärmedämmung [W]
R_a	= Äußerer Wärmeübergangswiderstand [(m ² K/W)]
R_s	= Wärmedurchgangswiderstand der Schicht s [(m ² K)/W]
R_{TWD}	= Wärmedurchgangswiderstand eines transparenten Bauteils [(m ² K/W)]
$\bar{R}_u(t)$	= Reliabilitätsfunktion eines Bauteils u in der Nutzungszeit [a]
$R_u(t)$	= Funktion zur Überlebenswahrscheinlichkeit in t [a]
$SEE_{uk}(t_{SA})$	= Soll – Energieeinsparung des Bauteils u im Baujahr k [Wh/a]
$SEE_{ges}(t_{SA})$	= Gesamt-Soll-Energieeinsparung der Gebäudehülle und Heizungsanlage im Sanierungsjahr t _{SA} [Wh/a]
$SSR_{uk}(t)$	= Soll-Sanierungsrate des Bauteils u für ein Baujahr k und ein beliebiges Sanierungsjahr t [%/a]
$SSR_{ul}(t_{SA})$	= Soll-Sanierungsrate des Bauteils u für eine Baualtersklasse l=1,...,r [%/a]
$SSR_{ges}(t_{SA})$	= Gesamt-Sollsanierungsrate der Gebäudehülle [%/a]
s	= Scheibe s mit s=1,...,n [-]
st(a)	= Ständig durchströmte Heizrohre mit der Anzahl a [-]
t _{Au}	= Baujahr bzw. Installierung des Bauteils u [a]
t _L	= Technische Lebensdauer [a]

Symbolverzeichnis

t_{L_m}	= Mittlere technische Lebensdauer [a]
t_{\min}	= Minimale Lebensdauer [a]
t_{\max}	= Maximale Lebensdauer [a]
t_0	= Ausfallfreie Zeit [a]
t_{0_u}	= Ausfallfreie Zeit des Bauteils u [a]
Δt_{L_u}	= Zeitraum der Lebensdauer für ein Bauteil u [a]
Δt_{S_u}	= Jahr, in dem die technische Ersatzgrenze des Bauteils u erreicht wird [a]
Δt_{R_u}	= Renovierungsintervall des Bauteils u in einem Gebäudebestand [a]
T_A	= Außentemperatur [K]
$T_{Abg,n,t}$	= Nennabgastemperatur zum Zeitpunkt t [°C]
T_{FaAF}	= Temperatur der Fassade an der Aussenfläche [K]
T_{FaIF}	= Temperatur an der Bauteilinnenseite der Fassade [K]
T_{HF}	= Temperatur der Heizfläche [K]
T_{HK}	= Heizkesseltemperatur [°C]
$T_{HK,n,t}$	= Heizkesselnenntemperatur zum Zeitpunkt t [°C]
$T_{I,HR}$	= Temperatur des Heizraums [°C]
T_I	= Raum-Innentemperatur [K]
T_{I^*}	= Mittlere Umgebungstemperatur der Luft [K]
$T_{Ke,i}$	= Temperatur des Fußbodens [K]
$T_{m,s}$	= Mittlere Temperatur der Schicht s [K]
$T_{m,s-1}$	= Mittlere Temperatur der Schicht s-1 [K]
$T_{m,s+1}$	= Mittlere Temperatur der Schicht s+1 [K]
$T_{m,s,t}$	= Mittlere Temperatur der Schicht s zum Zeitpunkt t [K] (mit $j = 1, \dots, n-1, n$ und $t = 0, 1$)
$T_{m,strIF}$	= Mittlere Strahlungstemperatur im Raum [K]
$T_{N,HF}$	= Nenntemperatur der Heizfläche [K]

T_{s1}	= Temperatur an der Scheibe s=1 [K]
T_{s2}	= Temperatur an der Scheibe s=2 [K]
T_{sp_1}	= Temperatur am Spalt 1 [K]
T_{sp_2}	= Temperatur am Spalt 2 [K]
ΔT	= Temperaturdifferenz [K]
u	= Bauteil u mit $u = 1, \dots, w, w + 1$ (Gebäudehülle und Heizungsanlage) [-]
$U_{u_{xI,i}}(t_{x_e})$	= Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils u des Landes x für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I mit $t_{x_e} = t_{x-1}$ für den unsanierten Zustand und $t_{x_e} = t_{x0}$ für die Anforderungen nach den Standards [W/m ² K]
$\Delta U_{u_{xI,i}}(t)$	= Abweichung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils u von der Umfassungsfläche für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I in Abhängigkeit des Zustands t_{x_e} des Landes x [W/m ² K]
$U_{u_{xI,i}}(t)$	= Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils u zum Zeitpunkt t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [W/m ² K]
$U_{u_{xI,i}}(t_{x0})$	= Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils u für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [W/m ² K]
$v^{konv,e}$	= Geschwindigkeit des konvektiv erzwungenen Anteils [(m/s) ⁿ]
$WE(t)$	= Anzahl der Wohneinheiten im Jahr (t) [-]
$WF_k(t)$	= Wohnflächenbestand des Baujahrs k für ein beliebiges Sanierungsjahr t [m ²]
$WF_{ges}(t)$	= gesamter Wohnflächenbestand im beliebigen Sanierungsjahr t [m ²]
$WF_{san.}(t_{SA})$	= Sanierte Wohnfläche im Sanierungsjahr t_{SA} [m ²]
$WF_{ges}(t_{SA})$	= Gesamte Wohnfläche im Sanierungsjahr t_{SA} [m ²]
$WF_{xI,i}$	= Wohnfläche des Landes x für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [m ²]
$\frac{WF}{Person}(t)$	= Mittlere Wohnfläche pro Person im Berechnungsjahr t [m ² /Person]
$\frac{WF}{Person}(t_{-1})$	= Mittlere Wohnfläche pro Person im vorangehenden Jahr t_{-1} [m ² /Person]
x, y, z	= Raumkoordinaten [-]

$y(t)$ = Nutzungszeit des Bauteils u [a]

1. Einleitung

1.1 Problemstellung und Ausgangssituation

Gebäude sind selbständig benutzbare und überdachte Bauwerke, die auf Dauer errichtet worden sind und die von Menschen betreten werden können und die geeignet oder bestimmt sind, dem Schutz von Menschen, Tieren oder Sachen zu dienen [STABU, 2000]. Innerhalb der Gebäude wird nach der Funktionserfüllung in die Gruppen der Wohn- und Nicht-Wohngebäude unterschieden. In Europa werden die Wohngebäude als langlebige Güter konzipiert, die häufig mit einer massiven Bauweise verbunden sind.

Die europäischen Wohngebäude haben neben konstruktiven Anforderungen die Bedingungen für die Aufrechterhaltung der thermischen Behaglichkeit und der notwendigen Raumluftqualität zu erfüllen. Bei niedrigen Außentemperaturen muss zur Sicherstellung einer behaglichen Raum-Innentemperatur dem Wohngebäude Wärme zugeführt werden. In Wohngebäuden wird durch die Gebäudetechnik die Energieversorgung für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser sowie für das Kochen, die Beleuchtung, die Kühlung und die Nutzung weiterer elektrischer Geräte gewährleistet. Diese Energieversorgung wird in der EU-25 derzeit nur zu 11 % durch regenerative Energien gedeckt [Eurostat, 2006]. Die restlichen 89 % werden durch fossile Energieträger bereitgestellt.

Der temperaturbereinigte Endenergieverbrauch im Wohngebäudesektor der EU-25 besitzt mit 26 % den drittgrößten Verbrauch aller Sektoren. Fast 80 % des Endenergieverbrauchs in diesem Sektor kann auf Raumwärme (ca. 60 %) und Warmwasser (ca. 20 %) zurückgeführt werden. Rund 30 % der CO₂-Emissionen in der europäischen Union werden durch den Wohngebäudesektor verursacht [Enerdata, 2006].

Die jährlichen Neubauraten von rund 1,2 % / a [Enerdata, 2006] führen zu einer weiteren Erhöhung des Endenergieverbrauchs, obwohl die neuen Gebäude immer besser isoliert werden. Deutliche Emissionsreduktionen können nur durch energetische Sanierungen im Gebäudebestand erzielt werden. Die hohen Energieverbrauchswerte bei Altbauten belegen jedoch, dass im Hinblick auf effiziente Energieeinsparungen im europäischen Wohngebäudesektor bisher trotz einiger nationaler Anstrengungen nur wenig getan wurde [Eurostat, 2006, Housing Statistics, 2005].

Analysen des Energieverbrauchs im europäischen Wohngebäudesektor zeigen, dass energetisch effiziente Wohngebäude einen wesentlichen Beitrag zur Erzielung von Klimaschutzziele leisten können. Berücksichtigt man die Kyotoziele für die europäische Union und die Verpflichtungen der einzelnen Mitgliedsstaaten im Rahmen der

Burdensharing-Vereinbarung zur Senkung der Treibhausgasemissionen so wird klar, dass im Gebäudebereich die Einsparpotenziale stärker als bisher ausgeschöpft werden müssen.

Die europäischen Richtlinien zur Gesamtenergieeffizienz von Wohngebäuden und zur Energieeffizienz von Energiedienstleistungen stellen erste Schritte dar, die zu einer Steigerung der Effizienz und zur Harmonisierung der energetischen Bauqualität beitragen sollen. Insbesondere sind die Dimensionen der Bauausführung zu beachten, die Maßstäbe für die weitere Qualität der Wohngebäude setzen. Darüber hinaus hat es in einigen Ländern eine Reihe von ersten nationalen Anstrengungen gegeben.

Die Bestandsstruktur führt zu der Erkenntnis, dass mehr als 60 % der europäischen Wohnfläche vor der ersten Ölkrise im Jahr 1973 errichtet worden sind. Effiziente Bewirtschaftungsstrategien zur Verminderung der CO₂-Emissionen erfordern daher neben dem energetisch verbesserten Neubau auch energetische Sanierungen im Bestand.

In diesem Zusammenhang ist es nachteilig, dass es trotz vorhandener Daten zur Beschreibung des europäischen Wohngebäudesektors [Housing Statistics, 2005] bisher keine einheitliche und detaillierte Dokumentation des Bestands nach Konstruktionstypologien gibt. Weitere Mängel bestehen durch das Fehlen von Informationen über die Sanierungszustände der Altbauten, das Problem der bisher unterschiedlichen nationalen Vorschriften und das Fehlen eines konsistenten Vorgehens sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene.

1.2 Zielsetzung der Untersuchung

Vor dem Hintergrund der aktuellen politischen Bemühungen in der EU zur Energieeffizienz und zum Klimaschutz sind wirksame Strategien im Wohngebäudebereich erforderlich. Die europaweite Datensituation, die methodischen Instrumente und die bisher vorliegenden Potenzialeinschätzungen sind unzureichend.

Hauptziel der vorliegenden Untersuchung ist es, hierzu einen methodischen und quantitativen Beitrag zu liefern. Im Einzelnen bedeutet dies, für den europäischen Wohngebäudesektor:

- ein Instrumentarium zur Ableitung der Energieeinsparpotenziale durch energetische Sanierungen zu entwickeln, dass methodisch auf eine zuverlässigere Basis gestellt ist, als die bisherigen Ansätze,
- die vorhandene Datenbasis im Hinblick auf die Fragestellung weiterzuentwickeln,
- ein geeignetes Rechenmodell zu erstellen und anzuwenden, um
- Minderungsszenarien zu rechnen, die für die europäische Klimaschutzpolitik relevant sind.

Das erste Ziel der Arbeit besteht darin, ein Instrumentarium zur Berechnung der Energieeinsparungen durch energetische Sanierungen zu entwickeln, das auf der Grundlage eines wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatzes beruht. Dieses soll einerseits zur detaillierten Abbildung der Alterung der Gebäudebestände und andererseits zur Herleitung der zeitlichen Verteilung der Sanierungshäufigkeit dienen. Die Schwerpunkte dieses Ansatzes bestehen darin, aufbauend auf einer Gebäudebestandsklassifizierung für jedes einzelne Wohngebäude die spezifischen Alterungsprozesse der Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage zu simulieren. Die Abbildung des Alterungsprozesses wird auf der Basis der Analysen von [Meyer, 1994, Garavaglia et al., 2004] und den empirischen Erkenntnissen von [Balaras et al., 2005a] weiterentwickelt und vertieft.

Unter der Berücksichtigung der Einflussfaktoren auf die Alterung sollen mit diesem Ansatz Zeiträume für die Durchführung von Bauteilsanierungen abgeleitet werden. Der Zeitpunkt der Sanierung ist dabei mit der technischen Lebensdauer des Bauteils definiert und variiert in Abhängigkeit der Einflussfaktoren auf die Alterung. Innerhalb der jeweiligen Sanierungszeiträume soll dieser Ansatz mit dem Ende der technischen Lebensdauer die Ableitung von Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Bauteile ermöglichen.

Durch diesen methodischen Ansatz soll erstmalig durch die simulierten Alterungsprozesse eine bauteilspezifische Verteilung der Sanierungshäufigkeiten bestimmt werden. Die Modellierung der Sanierungshäufigkeiten für das gesamte Wohngebäude erfolgt durch die Überlagerung der bauteilspezifischen Verteilungen. Mit dem verwendeten Ansatz sollen

durch die Unterstellung einer Kombination von baulicher und energetischer Sanierung zum Zeitpunkt der Sanierung die Energieeinsparpotenziale und zugleich die CO₂-Reduktionspotenziale bestimmt werden. Durch die Hochrechnung auf den Bestand sollen die gesamten Einsparungen berechnet werden.

Ein zweites Ziel für die Analyse ist es, ein Sanierungsmodell für die Übertragung dieses Ansatzes auf den gesamten europäischen Wohngebäudebestand und zur Herleitung der spezifischen Energie- und CO₂-Emissionseinsparungen pro Jahr zu entwickeln. Ausgehend von einer umfangreichen Datenbasis und dem entwickelten Instrumentarium zur Bestimmung der Energieverminderungen durch energetische Sanierungen soll dieses Modell für alle Bauteile und Wohngebäudetypen sowohl die Berechnung von zukünftigen Einsparpotenzialen im Rahmen von Szenarioanalysen als auch die Ableitung einer energetischen Effizienz für die Bewertung der Sanierungen in der Vergangenheit ermöglichen. Die Anforderungen gemäß den nationalen und europäischen Standards sollen dem Modell exogen vorgegeben.

1.3 Aufbau der Arbeit

Für die Entwicklung eines Sanierungsmodells und zur Ableitung der Energieeinsparpotenziale ist es zunächst notwendig, für das System eines Wohngebäudes die relevanten Wärmeströme über die Gebäudehülle zu analysieren. In Kapitel 2 werden die technischen Grundlagen zur Ermittlung der Energieeinsparpotenziale durch die energetische Sanierung der Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage dargestellt.

Im anschließenden dritten Kapitel werden der Stand der Technik und der notwendige Forschungsbedarf beschrieben und die Auswahl eines methodischen Ansatzes zur Simulation der Alterungsprozesse der Bauteile begründet. Ausgehend von den methodischen Grundlagen zur Modellierung des Zeitpunkts der Sanierung wird analysiert, inwiefern sich dieser Ansatz für die Bewertung von energetischen Sanierungen von Gebäuden eignet. Für die gebäudetypologische Abbildung werden Gebäudetypen und die zugehörigen Baualtersklassen definiert. Zudem werden neben den Parametern zur Eingrenzung der Analyse die Rahmendaten für das zu entwickelnde Modell beschrieben. Für die Anwendung des Modells werden der Zeithorizont der Untersuchung und die betrachteten Szenarien bestimmt.

In Kapitel 4 wird zur energetischen Charakterisierung der Ausgangssituation eine Auswertung der vorhandenen gebäude- und wärmetechnischen Grunddaten durchgeführt. Für die Untersuchung wird aufgrund mangelnder Daten ein vereinfachtes Auswertungsverfahren angewendet.

Im nachfolgenden Kapitel 5 werden auf der Grundlage von Einzelgebäuden die Alterungsprozesse der Bauteile analysiert. Ausgehend von der Definition der betrachteten technischen Lebensdauer werden die Renovierungszyklen für die Bauteile hergeleitet. Die Modellierung der zeitlichen Alterung erfolgt auf der Basis des gewählten wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatzes.

Um die Anzahl und die Qualität der Sanierungen statistisch erfassen zu können, werden im Kapitel 6 Sanierungsparameter hergeleitet. Getrennt für die Quantität als auch die erreichte Einsparung bei thermischen Sanierungen werden Parameter zur Abbildung der Soll- und Istwerte definiert. Für die zusammenfassende Bewertung von Sanierungen wird die Potenzialausnutzung abgeleitet.

In Kapitel 7 wird auf der Prämisse der Sanierungsparameter und der Bewertung der Energieeinsparpotenziale ein Sanierungsmodell entwickelt. Im Mittelpunkt dieses Sanierungsmodells steht die Reduzierung des Raumwärmeverbrauchs und der CO₂-Emissionen durch energetische Sanierungen. Da der Wohngebäudebestand ein komplexes dynamisches System ist, wird zu Analyse Zwecken ein Modell entwickelt. Dieses

Sanierungsmodell, das als Instrument zur generalisierten Abbildung der Sanierungen im Wohngebäudebestand konzipiert ist, soll die Funktion besitzen, das zeitliche Sanierungsverhalten abzubilden. Es stellt zugleich die Grundlage zur Simulation von zukünftigen Entwicklungen im Rahmen von Szenarien dar, die Erkenntnisse über das Einsparpotenzial im Wohngebäudebestand ermöglichen.

In einem weiteren Unterabschnitt von Kapitel 7 werden mit der EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie, der wirtschaftlichen Entwicklung und den wohnwirtschaftlichen Parametern sowie den Energieträgerstrukturen die Rahmenbedingungen und Leitparameter für das dynamische Modell beschrieben. Aufbauend auf den Rahmenbedingungen und den Leitparametern wird für den europäischen Wohngebäudebestand die Struktur des Berechnungsverfahrens für das Sanierungsmodell hergeleitet.

Bevor die Ergebnisse der Szenarien bis 2030 interpretiert werden können, wird in Kapitel 8 die derzeitige Klimaschutzpolitik im Hinblick auf die CO₂-Emissionen im Wohngebäudesektor und die Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie analysiert.

Vor dem Hintergrund dieser Prämissen und den definierten Szenarien werden in Kapitel 9 die Resultate bis 2030 für das angewandte Sanierungsmodell diskutiert. Die Interpretation der Ergebnisse für den zukünftigen Raumwärmebedarf und der CO₂-Emissionen führt zur Ableitung von Sanierungsstrategien und der Herleitung von Maßnahmenbündeln zur Erhöhung der Energieeffizienz im Raumwärmesektor.

Abschließend werden in Kapitel 10 eine Zusammenfassung dieser Arbeit und eine Würdigung des Sanierungsmodells dargestellt. Dabei wird der gewählte Ansatz der Analyse kritisch gewürdigt und der weitere Forschungsbedarf im Wohngebäudesektor zur Anwendung des Modells beschrieben.

2. Technische Grundlagen zur energetischen Sanierung von Wohngebäuden

Zur Ermittlung des Energieeinsparpotenzials durch die energetische Sanierung der Gebäudehülle werden in diesem Kapitel die Wärmeströme und ihre zeitlichen Änderungen differenziert für jedes Bauteil der Umfassungsfläche des Systems Wohngebäude erörtert. Konkret werden die thermischen Veränderungen für die Bauteile Fenster, Dach, Fassade und Keller sowie die der Heizungsanlage betrachtet. Die bauteilspezifische Modellierung der thermischen Vorgänge wird somit einer dynamischen Betrachtung unterzogen und führt zur Ableitung der jeweiligen Wärmestromdifferenzen, die den gesuchten Energieeinsparungspotenzialen entsprechen. In der Kombination mit dem wärmetechnischen Ausgangszustand des Jahres 2001 können für die einzelnen Bauteile und die Heizungsanlage sowie für das Nutzerverhalten und die nationalen Einflussparametern die Energieeinsparungen durch energetische Sanierungen hergeleitet werden.

2.1 Thermisches Verhalten von Fassaden

Bei der Fassade eines Wohngebäudes, die den größten Flächenanteil der Gebäudehülle darstellt, sind zur Charakterisierung des thermischen Verhaltens physikalisch unabhängige Mechanismen für den Wärmetransport zu unterscheiden. Einerseits ist der Wärmeübergang an den Grenzflächen des Bauteils und andererseits die Wärmeleitung durch die mehrschichtige Bauteilkonstruktion zu beachten. Der zu analysierende Wärmestrom durch eine Fassade erfolgt in der Realität in drei Koordinatenrichtungen und ist somit durch ein instationäres Temperaturfeld gekennzeichnet.

2.1.1 Wärmeleitung

Da die spezifische Wärmekapazität c und die Wärmeleitfähigkeit λ der einzelnen Bauteilschichten durch Materialkennwerte bekannt sind, kann die Wärmeleitung mit der partiellen Differentialgleichung zweiter Ordnung nach Fourier [Winther & Tveito, 2002, S. 86] beschrieben werden.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \dot{q} + \operatorname{div}(\lambda \cdot \operatorname{grad}(T)) \quad [\text{W/m}^3]$$

ρ = Dichte [kg/m³],

c = Spezifische Wärmekapazität [J/(Kg K)],

\dot{q} = Wärmequellendichte [W/m³],

λ = Wärmeleitfähigkeit [W/(m K)],

T = Temperaturfeld [K],

$\lambda \cdot \text{grad}(T)$ = Wärmestromdichte [W/m].

Gleichung 2-1: Partielle Differentialgleichung zweiter Ordnung nach Fourier

Diese Wärmeleitungsgleichung ist eine partielle Differentialgleichung für die orts- und zeitabhängige Verteilung des Temperaturfelds in der wärmeleitenden Fassade. Wenn die Wärmestromdichte für jeden Punkt einer Fläche A im Innern oder auf dem Rand des Bauteils bekannt ist, so fließt durch ein differentielles Flächenelement $d\vec{A}$ von A ein differentiell kleiner Wärmestrom. Der gesamte Wärmestrom \dot{Q} durch die Fläche A ergibt sich durch Integration der differentiellen Wärmeströme mit den Raumkoordinaten x, y, z in der Zeit t zu

$$\dot{Q} = - \iint_A (-\lambda) \cdot \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \cdot d\vec{A} \quad [\text{W}].$$

\dot{Q} = Wärmestrom durch die Fläche A [W],

$d\vec{A}$ = Differentielles Flächenelement [m²],

x, y, z = Raumkoordinaten [-].

Gleichung 2-2: Herleitung des gesamten Wärmestroms

Da die Flächen der Gebäudehülle in der Regel durch einen markanten Wärmestrom senkrecht zur betrachteten Fläche und somit in einer Koordinatenrichtung gekennzeichnet sind, kann vereinfachend von einer eindimensionalen dynamischen Wärmeleitungsgleichung ausgegangen werden. Die Wärmequellendichte aus Gleichung 2-1 wird wegen der fehlenden aktiven Beheizung des Bauteils zu null gesetzt.

Eine Lösung dieser eindimensionalen Wärmeleitungsgleichung kann über die Methode der elektrischen Ersatzmodelle hergeleitet werden. Wegen der Analogie zur Elektrizitätslehre wird dieses Ersatzmodell als RC-Netzwerk mit Widerständen oder auch als Beukenmodell bezeichnet [vgl. Feist, 1994, S. 135]. Dabei wird zur Berücksichtigung der Speicherfähigkeit des Bauteils die Fassade in n homogene Schichten mit der Dicke d_j senkrecht zum Wärmestrom geteilt (Abbildung 2-1).

Die Widerstände des Ersatzmodells R_j kennzeichnen die jeweiligen Wärmedurchlasswiderstände. Die Wärmekapazität pro Flächeneinheit, die sich aus dem Produkt der Dichte,

der spezifischen Wärmekapazität und der Dicke der Schicht bestimmen lässt, wird mit C bezeichnet.

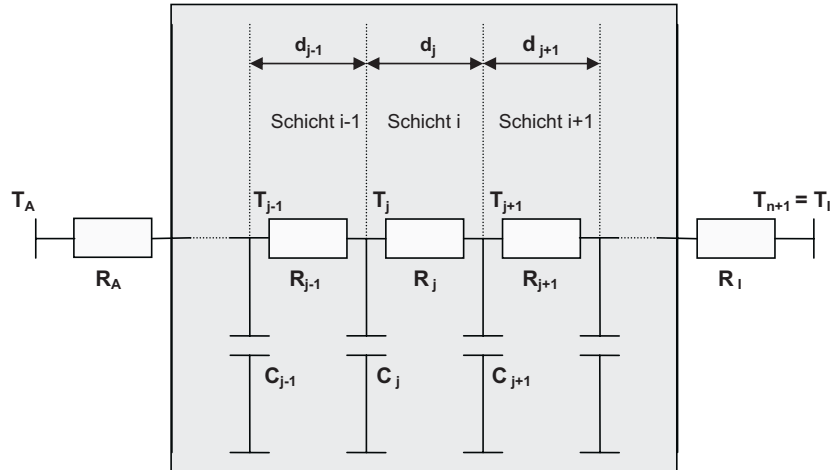


Abbildung. 2-1 : Modellierung der Wand als RC – Netzwerk [Bernard, 2000, S. 52]

Für jede Schicht j kann unter Anwendung des Vorwärtsdifferenzen-Verfahrens die diskretisierte eindimensionale dynamische Wärmeleitungsgleichung gelöst werden. Für die Wärmeströme zwischen den Schichten j-1 und j ergibt sich mit $T_{m,j}$ als mittlere Temperatur der Schichten j=1,...,n folgende Beziehung:

$$(\dot{Q}_{j-1} - \dot{Q}_j) = A \cdot \left[\frac{\lambda_{j-1}}{d_{j-1}} (T_{m,j-1} - T_{m,j}) - \frac{\lambda_j}{d_j} (T_{m,j} - T_{m,j+1}) \right] \quad [\text{W}]$$

\dot{Q}_j = Wärmestrom von der Schicht j zur Schicht j+1 [W],

\dot{Q}_{j-1} = Wärmestrom von der Schicht j-1 zur Schicht j [W],

$k_j = \frac{1}{R_j} = \frac{\lambda_j}{d_j}$ = Wärmedurchlasskoeffizient der homogenen Schicht j [W/(m² K)],

λ_j = Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit der Schicht j [W/(m K)],

d_j = Dicke der Schicht j mit (j=1,...,n) [m],

R_j = Wärmedurchgangswiderstand der Schicht j [(m² K)/W],

$T_{m,j}$ = Mittlere Temperatur der Schicht j [K].

$T_{m,j-1}$ = Mittlere Temperatur der Schicht j-1 [K].

$T_{m,j+1}$ = Mittlere Temperatur der Schicht j+1 [K].

Gleichung 2-3: Berechnung der Wärmeströme zwischen den Schichten

2.1.2 Wärmeübergang an Innenflächen

Der Wärmeübergang an den Grenzflächen der Fassade ist durch zwei physikalische Transportmechanismen zu kennzeichnen. Neben dem konvektiven Wärmeübergang, bei dem die Wärme durch Temperaturdifferenzen, die Oberflächenbeschaffenheit der Fassade, die Geschwindigkeit der Luft und die Richtung des Wärmestroms selbst beeinflusst wird, ist die Wärmestrahlung an den Innenflächen zu berücksichtigen. Die Wärmestrahlung ist ein Energietransport durch elektromagnetische Wellen und erfolgt von einem Körper zum anderen, wobei kein materieller Wärmeträger, wie bei der Konvektion (Konvektion = erwärmte Luft) gebraucht wird, sondern die Wärme an den Oberflächen emittiert und absorbiert wird.

Konvektiver Wärmetransport

An Innenflächen ist der konvektive Wärmetransport meist als Folge von Temperaturunterschieden als freie Konvektion zu bezeichnen, wobei an der Oberfläche der Fassade bei einer Raumtemperatur um 20 °C von einer turbulenten Strömung [vgl. Feist, 1997, S. 158] ausgegangen werden kann. Der konvektive Wärmestrom $\dot{Q}_{IF_{Fa},konv}$ kann [vgl. Zürcher & Frank, 1997, S. 24ff.] wie folgt linearisiert abgebildet werden:

$$\dot{Q}_{IF_{Fa},konv} = k_{konv,IF} \cdot A_{Fa} \cdot (T_I - T_{Fa,IF}) \quad [W]$$

$\dot{Q}_{IF_{Fa},konv}$ = Konvektiver Wärmestrom durch Innenflächen [W],

$k_{konv,IF}$ = Innerer konvektiver Wärmeübergangskoeffizient [W/(m² K)],

A_{Fa} = Fläche der Fassade [m²],

T_I = Raumtemperatur [K],

$T_{Fa,IF}$ = Temperatur an der Bauteilinnenseite der Fassade [K].

Gleichung 2-4: Konvektiver Wärmestransport

Die Strömung des Wärmetransports an einer Fassade wird in Abbildung 2-3 beispielhaft am Schema des Grenzschichtprofils bei freier Konvektion nach [Zitzmann, 2006, S. 98] abgebildet. Bei Wärmeübertrag von der Wand zur angrenzenden Luft (roter Pfeil) steigt die Luft aufgrund der abnehmenden Dichte auf (grüner Pfeil). Die Temperaturrandbedingung der linken Wandseite ist mit T_{Hot} [°C], die thermische Wandgrenzschicht mit δ [m]

gekennzeichnet. Die Geschwindigkeiten sind in der Abbildung 2-3 mit v als vertikaler Geschwindigkeitskomponente [m/s] und mit v_F als Komponente der Hauptströmung dargestellt. Die Fluidtemperatur wird mit T_F [°C] bezeichnet.

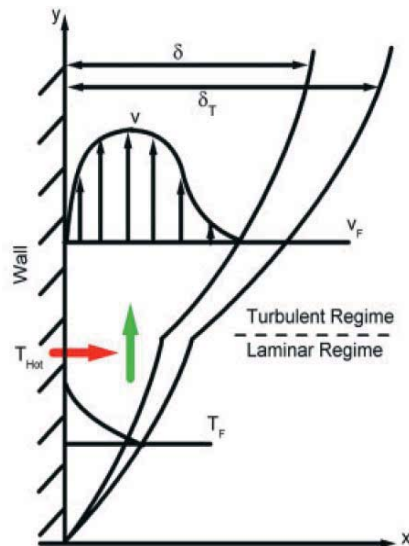


Abbildung 2-3 : Schema des Grenzschichtprofils bei freier Konvektion [Zitzmann, 2006, S.98]

Wärmetransport durch Strahlung

Der strahlungsbedingte Wärmestrom an der Innenfläche der Fassade wird durch langwellige Strahlung hervorgerufen. Durch Approximation der Wärmestrahlung im Raum kann der komplexe physikalische Prozess des Strahlungsaustauschs deutlich vereinfacht betrachtet werden. Die Vereinfachung erfolgt durch das Ersetzen des komplexen Netzwerks durch ein Zwei-Sternenmodell. Dieses Modell besteht aus drei Widerständen, in deren Mittelpunkt ein Strahlungsmittelpunkt vorhanden ist. Dieser Strahlungsmittelpunkt stellt die mittlere Strahlungstemperatur des Raumes dar und ist unabhängig von der Geometrie des Raumes.

Das sogenannte Zwei-Stern-Modell eines quaderförmigen Raumes kann nach [vgl. Felgner, 2002, S. 581] bei der Simulation der thermischen Gebäudedynamik nach Modelica eingesetzt werden. Jede strahlende Fläche wird mit einem fiktiven schwarzen Körper verbunden, der eine unendliche Wärmeleitfähigkeit hat und den gesamten Raum ausfüllt. Dieser Körper entspricht lediglich einem Knotenpunkt (erster Sternpunkt), an den jede langwellig strahlende Fläche über einen universellen Strahlungskoppler angeschlossen wird. Weiterhin sind alle Wände, Decken und Böden über konvektive Wärmeübergänge mit einem Raumlufknoten verbunden (zweiter Stern). An diesen ist ein Raumlufmodell in Gestalt eines Wärmespeichers angeschlossen.

Mit Hilfe dieser Vereinfachung und der Anwendung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes für die Energiestromdichte kann der Wärmeübergangskoeffizient durch Strahlung an Innenflächen berechnet werden und somit der gesamte Wärmestrom durch Innenflächen, der sich aus konvektivem und strahlungsbedingtem Wärmetransport ergibt, abgebildet werden.

$$\dot{Q}_{IF,fa} = A_{fa} \cdot \left[k_{konv,if} \cdot (T_i - T_{fa,if}) + (\sigma \cdot \varepsilon_{fa,if}) \cdot (T_{m,str,if}^4 - T_{fa,if}^4) \right] [W]$$

σ = Stefan- Boltzmann- Konstante $[W/(m^2 K^4)]$,

$\varepsilon_{fa,if}$ = Emissionsgrad der Innenfläche der Fassade [-],

$T_{m,str,if}$ = Mittlere Strahlungstemperatur an Innenflächen [K].

Gleichung 2-5: Gesamter Wärmestrom durch Innenflächen infolge des Wärmetransports durch Konvektion und Strahlung

2.1.3 Wärmeübergang an Aussenflächen

Der Wärmeübergang an der Aussenfläche einer Fassade ist entsprechend der Innenfläche durch die physikalischen Transportmechanismen des konvektiven und strahlungsabhängigen Wärmestromanteils gekennzeichnet.

Neben dem freien konvektiven Anteil des Wärmestroms bei Innenflächen von Fassaden ist bei Aussenflächen aufgrund der Einflüsse der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit auch die erzwungene Konvektion zu berücksichtigen. Die Änderung der Windrichtung und der Geschwindigkeit v in kurzen Zeitintervallen gestalten die Bestimmung des konvektiven Anteils recht schwierig. Theoretische Ähnlichkeitsbetrachtungen im Strömungsfeld unter der Berücksichtigung des Übergewichts der erzwungenen Luftbewegung führen zu einer linearen Beziehung für den äußeren Wärmeübergangskoeffizienten. Aus dieser empirischen Korrelationsformel des Wärmeübergangskoeffizienten ergibt sich letztlich nach [vgl. Feist, 1994, S. 282] folgender konvektiver Wärmestrom $\dot{Q}_{AF,fa,konv}$ an der Aussenfläche der Fassade:

$$\dot{Q}_{AF,fa,konv} = A_{fa} \cdot \left(k_{konv,af,f} + k_{konv,af,e} \cdot v^{n_{konv,e}} \right) \cdot (T_{fa,af} - T_a) \quad [W]$$

$$\text{mit } k_{konv,af} = k_{konv,af,f} + k_{konv,af,e} \cdot v^{n_{konv,e}}$$

$\dot{Q}_{AF,fa,konv}$ = Konvektiver Wärmestrom an der Aussenfläche der Fassade [W],

k_{konvAF}	= Äußerer konvektiver Wärmeübergangskoeffizient $[W/(m^2 K)]$,
$k_{konvAF,f}$	= Freier konvektiver Anteil am Wärmeübergangskoeffizienten $[W/(m^2 K)]$,
$k_{konvAF,e}$	= Erzwungener konvektiver Anteil am Wärmeübergangskoeffizienten in $[(W s)/(m^{n+2} K)]$,
$n_{konv,e}$	= Exponent der Geschwindigkeit des erzwungenen konvektiven Anteils [-],
$v^{n_{konv,e}}$	= Geschwindigkeit des konvektiv erzwungenen Anteils $[(m/s)^n]$,
T_{FaAF}	= Temperatur der Fassade an der Aussenfläche $[K]$,
T_A	= Aussentemperatur $[K]$.

Gleichung 2-6: Konvektiver Wärmestrom an der Aussenfläche

Strahlungsaustausch

Neben dem konvektiven Wärmestrom steht die Fassade im Strahlungsaustausch mit der Umgebung. Dieser Austausch erfolgt durch kurzwellige Strahlung infolge der Absorption der Sonneneinstrahlung an opaken Bauteilen und durch langwelligen Strahlungsaustausch mit dem Himmel und der Umgebung.

Die zu bestimmende Sonneneinstrahlung setzt sich aus der Differenz von direkter I_{dir} und diffuser I_{diff} Einstrahlung auf das Bauteil zusammen. Sind sowohl der Höhenwinkel der Sonne h als auch der Einstrahlungswinkel zwischen der Sonne und der Fassade φ bekannt, kann die absorbierte Strahlung für vertikale Flächen formuliert werden [vgl. Zürcher & Frank, 1997, S. 37].

Der langwellige Strahlungsaustausch der äußeren Fassadenfläche mit dem Himmel und der Umgebung lässt sich analog der Strahlungsberechnung bei Innenflächen berechnen. Es erfolgt auch hier eine Anwendung des 2-Sterne Modells. Die mittleren Strahlungstemperaturen des jeweiligen Sterne Modells sind hier die Außentemperatur sowie die mittlere Strahlungstemperatur des Himmels T_H . Für die Berechnung wird außerdem vereinfacht von einem ebenen Horizont ohne Berge oder Bebauung ausgegangen, so dass die Fassade jeweils zu 50% den Himmel und die Umgebung sieht.

Mit Hilfe dieser Vereinfachung und dem Modell des Strahlungsknotens für den langwelligen Strahlungsaustausch sowie der direkten und diffusen absorbierten Sonneneinstrahlung kann der gesamte Wärmestrom an der äußeren Fläche durch Wärmestrahlung $\dot{Q}_{AFFa, str}$ bestimmt werden.

$$\dot{Q}_{AF_{Fa, str}} = \left[(\sigma \cdot \varepsilon_{Fa_{AF}}) \cdot \left(\frac{\varepsilon_H}{2} \cdot T_H^4 + \frac{\varepsilon_U}{2} \cdot (T_{Fa_{AF}}^4 - T_A^4) \right) - \left(\frac{I_{dir}}{\sin(h)} \cdot \cos(\varphi) + \frac{I_{diff}}{2} \right) \cdot \alpha_S \right] \cdot A_{Fa}$$

$$\text{mit } k_{str_{AF, Fa, U}} = (\sigma \cdot \varepsilon_{Fa_{AF}}) \cdot \left[(T_{Fa_{AF}}^2 + T_A^2) \cdot (T_{Fa_{AF}} + T_A) \right]$$

$\dot{Q}_{AF_{Fa, str}}$ = Gesamter Wärmestrom an der äußeren Fläche durch Wärmestrahlung [W],

$k_{str_{AF, Fa, U}}$ = umgebungsabhängiger äußerer Wärmeübergangskoeffizient [W/(m² K)],

$\varepsilon_{Fa_{AF}}$ = Emissionsgrad der äußeren Fassadenfläche [-],

T_H = Himmelstemperatur [K],

ε_H = Emissionsgrad des Himmels [-],

ε_U = Emissionsgrad der Umgebung [-],

I_{dir} = Direkte Sonneneinstrahlung [W/m²],

I_{diff} = Diffuse Sonneneinstrahlung [W/m²],

h = Höhenwinkel der Sonne [°],

φ = Einstrahlungswinkel zwischen der Sonne und der Fassade [°],

α_S = Absorptionskoeffizient [-].

Gleichung 2-7: Wärmestrom durch Strahlung an der Aussenfläche

Der Absorptionskoeffizient bezeichnet den Teil der Energie, der absorbiert wird, wenn Schallwellen auf ein Material treffen. Der Absorptionskoeffizient eines Materials ist abhängig von der Frequenz, die auf das Material trifft. Dabei entspricht ein Absorptionskoeffizient von 1,0 einer totalen Absorption und einer von 0,0 einer totalen Reflektion. Diese Werte werden verwendet um Absorptionseigenschaften unterschiedlicher Materialien zu klassifizieren. Für hell gestrichene Fassadenflächen erhält dieser Koeffizient Werte von ungefähr 0,45.

Die absorbierte Sonnenstrahlung führt an der Fassadenfläche zu einer Erhöhung der Oberflächentemperatur. Der Wärmestrom durch die Fassade von innen nach außen wird folglich um den Anteil der Sonneneinstrahlung vermindert. Diese Wärmestromreduktion geht allerdings ohne wärmedämmende Schicht in der Fassade infolge der Trägheit der Wärmeleitung größtenteils verloren. Die unterschiedlichen Temperaturverläufe und die von den Temperaturen abhängigen Wärmeströme werden in Abbildung 2-4 abgebildet und zeigen die Wirkung der Dämmschicht. An sonnigen Wintertagen werden die Temperaturen der äußeren Schichten der Fassade erhöht und drehen in diesen Bauteilschichten den Wärmestrom von innen nach außen um. Ohne Sonneneinstrahlung kann ein kontinuierlicher

Wärmestrom durch eine gleichmäßige Wärmeleitung durch die Fassade von innen nach außen nachgewiesen werden, wobei zur Verminderung des Raumwärmeverbrauchs innerhalb der Dämmschicht der eigentliche Temperaturabfall erfolgt.

Bei konventioneller (nicht durchsichtiger oder opaker) Wärmedämmung wird der Wärmefluss von innen nach außen wegen des erhöhten Wärmedurchlasswiderstands verringert. Bei transparenter Wärmedämmung sollen zusätzlich solare Gewinne ins Haus gebracht werden. Die Durchführung der energetischen Sanierung der Fassade durch eine transparente Wärmedämmung führt zu einem zusätzlichen Energiegewinn, der durch die Änderung des Absorptionskoeffizienten formuliert werden kann.

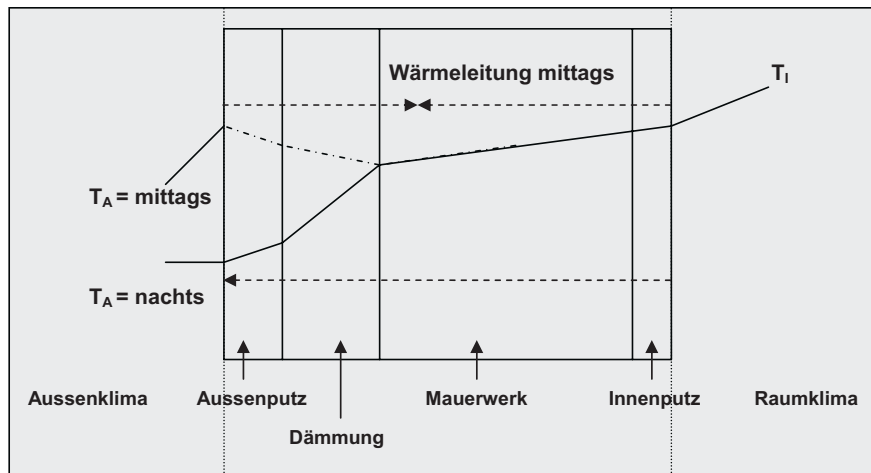


Abbildung 2-4 : Temperaturverläufe durch eine Wand

Nach [Platzer, 2000, S. 16] wird der solare Energiegewinn in dem nachfolgenden Produkt bestimmt, das einerseits aus dem Gesamtenergiedurchlassgrad g_{TWD} der transparenten Wärmedämmung und andererseits aus dem Quotienten des transparenten Wärmedurchgangswiderstands R_{TWD} und des äußeren Wärmeübergangswiderstands R_a besteht. Der Einfluss der transparenten Wärmedämmung auf den Absorptionskoeffizienten lautet:

$$\alpha_s = g_{TWD} \cdot \frac{R_{TWD}}{R_a} \quad [-]$$

α_s = Absorptionskoeffizient [-],

g_{TWD} = Gesamtenergiedurchlassgrad der transparenten Wärmedämmung [-],

R_{TWD} = Wärmedurchgangswiderstand einer transparenten Wärmedämmung $[(m^2K/W)]$,

R_A = Äußerer Wärmeübergangswiderstand $[(m^2K/W)]$.

Gleichung 2-8: Solarer Energiegewinn

Die Änderung des Wärmeübergangs durch eine transparente Wärmedämmung führt mit Gleichung 2-8 und dem Absorptionskoeffizienten zum Zeitpunkt t (0 = Ausgang und 1 = saniert) zum reduzierten Wärmestrom $\Delta\dot{Q}_{WÜ}$.

$$\Delta\dot{Q}_{WÜ} = \left[\frac{I_{dir}}{\sin(h)} \cdot \cos(\varphi) + \frac{I_{diff}}{2} \right] \cdot (\alpha_{S,0} - \alpha_{S,1}) \quad [W]$$

$\Delta\dot{Q}_{WÜ}$ = Reduzierter Wärmestrom durch transparente Wärmedämmung [W],

$\alpha_{S,0}$ = Absorptionskoeffizient vor der Sanierung [-],

$\alpha_{S,1}$ = Absorptionskoeffizient nach der Sanierung [-].

Gleichung 2-9: Reduzierter Wärmestrom durch eine transparente Wärmedämmung

Die Verminderung des Wärmestroms durch Wärmeleitung $\Delta\dot{Q}_{WL}$ wird aus der Lösung des Vorwärtsdifferenzen-Verfahrens für die eindimensionale Wärmeleitungsgleichung nach Fourier abgeleitet. Die Summe der Wärmeströme wird durch Gleichung 2-3 für die Wärmeleitung von j=2 bis j=n für die beiden Zustände hergeleitet. Die Senkung des Wärmestroms durch Dämmung in der Schicht n-1 kann dann aus dem Produkt der jeweiligen Widerstände, die mit der mittleren Temperaturänderung der Bauteilschichten zu multiplizieren sind, gebildet werden.

$$\Delta\dot{Q}_{WL} = [k_{n-1,0} \cdot (T_{m,n-1,0} - T_{m,n,0}) - k_{n-1,1} \cdot (T_{m,n-1,1} - T_{m,n,1})] \cdot A_{Fa} \quad [W]$$

$k_{j,t}$ = Wärmedurchgangskoeffizient der Schicht j zum Zeitpunkt t $[W/(m^2 K)]$,

$T_{m,j,t}$ = mittlere Temperatur der Schicht j zum Zeitpunkt t [K]

(mit j= 1,...,n-1,n und t= 0,1).

Gleichung 2-10: Verminderung des Wärmestroms durch Wärmeleitung

Durch die energetische Sanierung einer Fassade, die durch eine Dämmung der Außenoberfläche gekennzeichnet ist, kann letztlich eine Reduktion der Wärmeströme durch Wärmeleitung $\Delta\dot{Q}_{WL,Fa}$ und Wärmeübergang $\Delta\dot{Q}_{WÜ,Fa}$ hergeleitet werden, die sich durch die Energieeinsparendifferenz $\Delta\dot{Q}_{S,Fa}$ bestimmen lässt.

$$\Delta\dot{Q}_{S,Fa} = \Delta\dot{Q}_{WL,Fa} + \Delta\dot{Q}_{WÜ,Fa} \quad [\text{W}]$$

$\Delta\dot{Q}_{S,Fa}$ = Einspardifferenz durch energetische Sanierung der Fassade [W],

$\Delta\dot{Q}_{WL,Fa}$ = Reduktion der Wärmeströme durch Wärmeleitung an Fassaden [W],

$\Delta\dot{Q}_{WÜ,Fa}$ = Reduktion der Wärmeströme durch Wärmeübergang an Fassaden [W].

Gleichung 2-11: Einspardifferenz durch energetische Sanierung einer Fassade

2.2 Thermisches Verhalten von Dächern und Kellern

Neben Fassaden erfolgt auch über das Dach und den Keller eines Wohngebäudes ein Wärmetransport. Das thermische Verhalten von Decken und Kellern bzw. erdberührenden Bauteilen kann analog den Wärmeströmen durch Fassaden hergeleitet werden.

2.2.1 Dämmung des Kellers

Durch die Dämmung von Kellerdecken oder erdberührenden Bauteilen erfolgt der zu vermindernende Wärmestrom durch Wärmeübergang vom Rauminnern und durch Wärmeleitung durch den Fußboden, während ein äußerer Wärmeübergang nicht vorliegt. Der konvektive und durch Wärmestrahlung hervorgerufene Wärmestrom an Innenflächen lässt sich unter der Beachtung der inneren Bauteiltemperatur $T_{Ke,i}$ (Temperatur des Fußbodens) gemäß Gleichung 2-5 für Kellerdecken ableiten.

$$\dot{Q}_{IF_{Ke}} = A_{Ke} \cdot \left[k_{konv,i} \cdot (T_I - T_{Ke,i}) + k_{str,i} \cdot (T_{m,str,i} - T_{Ke,i}) \right] \quad [W]$$

A_{Ke} = Kellerfläche [m^2],

$T_{Ke,i}$ = Temperatur des Fußbodens [K].

Gleichung 2-12: Wärmestrom an Innenflächen zur Dämmung des Kellers

Die energetische Sanierung von Kellern führt zu einem reduzierten Energiestrom, der durch die optimierte Wärmeleitung begründet werden kann und entsprechend Gleichung 2-3 zu formulieren ist. Für die Energieeinspardifferenz $\Delta \dot{Q}_{S_{Ke}}$ durch die Dämmung der Kellerdecke ist folgende Gleichung zu bestimmen.

$$\Delta \dot{Q}_{S_{Ke}} = \left[k_{n-1,0} \cdot (T_{m,n-1,0} - T_{m,n,0}) - k_{n-1,1} \cdot (T_{m,n-1,1} - T_{m,n,1}) \right] \cdot A_{Ke} \quad [W]$$

$\Delta \dot{Q}_{S_{Ke}}$ = Energieeinspardifferenz durch die Dämmung der Kellerdecke [W],

$k_{j,t}$ = Wärmedurchgangskoeffizient der Schicht j zum Zeitpunkt t [$W/(m^2 K)$],

$T_{m,j,t}$ = Mittlere Temperatur der Schicht j zum Zeitpunkt t [K]

(mit $j = 1, \dots, n-1, n$ und $t = 0, 1$).

Gleichung 2-13: Reduktion des Wärmestroms durch Dämmung des Kellers

2.2.2 Dämmung des Daches

Die Modellierung der Wärmestromdifferenz für die Energieeinsparung des Raumwärmeverbrauchs durch die Sanierung des Bauteils Dach kann in weiten Teilen analog zur Analyse der Wärmeströme an Außen- und Innenflächen von Fassaden praktiziert werden. Im Mittelpunkt der Sanierung steht hier die Begrenzung des Wärmestroms durch Wärmeleitung.

Die Neigung des Daches ist für den Wärmestrom durch Wärmestrahlung an Außenflächen durch den Neigungswinkel β des Bauteils Dach bezüglich der Horizontalebene in Gleichung 2-7 neben dem Term für das Reflexionsvermögen aus direkter und indirekter Sonneneinstrahlung zu beachten. Für Steildächer ist der Neigungswinkel mit $45 - 65^\circ$ anzusetzen, während er bei Flachdächern 0° beträgt.

$$\dot{Q}_{AFDa} = \left[\frac{I_{dir}}{\sin(h)} \cdot \cos(\varphi) + \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \cdot I_{diff} + \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \cdot \rho_E \cdot (I_{dir} + I_{diff}) \right] \cdot A_{Da} \quad [\text{W}]$$

β = Neigungswinkel des Bauteils Dach bezüglich der Horizontalebene $[\circ]$,

ρ_E = Reflexionsvermögen der Erde $[-]$,

A_{Da} = Dachfläche $[\text{m}^2]$.

Gleichung 2-14: Wärmestrom durch Wärmestrahlung an Außenflächen des Daches

Die energetische Sanierung des Daches führt zu einer Energiereduktion, die analog der Gleichung 2-13 berechnet werden kann.

2.3 Thermische Modellierung von Fenstern

Das thermische Verhalten von Fenstern ist einerseits geprägt durch die Wärmeströme über die Innenflächen nach außen und andererseits durch die Sonneneinstrahlung über die Außenflächen nach innen. Die Sonneneinstrahlung durch das Bauteil Fenster erfolgt primär durch direkte Durchstrahlung oder sekundär durch Konvektion und ein Teil der Sonneneinstrahlung wird an der Fensterscheibe absorbiert.

Das thermische Modell einer Fensterverglasung wird am Beispiel einer 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung betrachtet. Der Wärmefluss durch Isolierglas ist gekennzeichnet durch einen Strahlungsaustausch zwischen den Scheiben infolge des Emissionsvermögens der Scheibenoberfläche für Wärmestrahlen. Durch Beschichtung einer oder mehrerer Scheiben einer Isolierglaseinheit gelingt es, den Wärmedurchgangskoeffizient von Isolierglas entscheidend zu verbessern und das Emissionsvermögen der Glasoberfläche zu reduzieren. Eine weitere Möglichkeit zur Senkung des Wärmestroms wird erreicht, wenn die Luft im Scheibenzwischenraum durch ein Edelgas mit geringer Wärmeleitfähigkeit ersetzt wird.

An der Innenfläche des Fenstermodells findet der Wärmeübergang durch Konvektion über den Raumlufknoten und durch Wärmestrahlung über einen Strahlungsknoten statt. In den Scheiben erfolgt jeweils eine Festkörperleitung aufgrund der Wärmeleitung. Der Spalt zwischen den Scheiben erfährt eine Wärmeleitung durch Gasleitung infolge des Edelgases sowie einen Wärmeströme durch Konvektion und Wärmestrahlung. An der Außenfläche des Modells kann ein Wärmeübergang durch eine windabhängige Konvektion und durch eine Strahlungsbilanz der langwelligigen Strahlung aus der Umgebung charakterisiert werden.

Die Energiebilanz an einer 2- Scheiben Wärmeschutzverglasung kann für den Winterfall wie folgt beschrieben werden:

$$\dot{Q}_{Fe2S} = \dot{Q}_{strFe,zS} + \dot{Q}_{WLFe,zS} + \dot{Q}_{konvFe,zS} + \dot{Q}_{WLFe,iS} + \dot{Q}_{IFFe} + \dot{Q}_{AFFe} - \dot{Q}_{absFe}$$

$$\dot{Q}_{strFe,zS} = \text{Wärmestrahlung zwischen den Scheiben [W],}$$

$$\dot{Q}_{WLFe,zS} = \text{Wärmeleitung zwischen den Scheiben [W],}$$

$$\dot{Q}_{konvFe,zS} = \text{Konvektion zwischen den Scheiben [W],}$$

$$\dot{Q}_{WLFe,iS} = \text{Wärmeleitung in einer Scheibe [W],}$$

$$\dot{Q}_{IFFe} = \text{Konvektiver Wärmestrom an der Innenfläche des Fensters [W],}$$

$$\dot{Q}_{AFFe} = \text{Windabhängige Konvektion an der Außenfläche des Fensters [W],}$$

$$\dot{Q}_{absFe} = \text{Summe des absorbierten Wärmestroms durch Sonnenstrahlung [W].}$$

Gleichung 2-15: Energiebilanz an einer 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung

Unter Anwendung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes für zwei planparallele Glasscheiben S_1 und S_2 mit der Randbedingung unendlicher Ausdehnung kann der Strahlungsaustausch zwischen den Scheiben $\dot{Q}_{str,zS,Fe}$ aus Gleichung 2-5 formuliert werden.

$$\dot{Q}_{str,zS,Fe} = (\sigma \cdot \varepsilon_{Fe,zS}) \cdot [T_{S_1}^4 - T_{S_2}^4] \quad [W]$$

$\varepsilon_{Fe,zS}$ = Emissionsgrad zwischen den Scheiben [-],

T_{S_1} = Temperatur an der Scheibe 1 [K],

T_{S_2} = Temperatur an der Scheibe 2 [K].

Gleichung 2-16: Berechnung des Strahlungsaustauschs zwischen den Scheiben

Der zusammengefasste Wärmestrom durch Gasleitung und Konvektion zwischen den Scheiben kann durch den Quotienten der Wärmeleitfähigkeit des Scheibenzwischenraums $\lambda_{WL,konv}$ in Bezug zur Spaltbreite d_{Spalt} , der mit der Temperaturänderung der betreffenden Ränder des Spalts zu multiplizieren ist, hergeleitet werden.

$$\dot{Q}_{WLFe,zS} + \dot{Q}_{konvFe,zS} = \frac{\lambda_{WL,konv}}{d_{Spalt}} \cdot [T_{Sp_1} - T_{Sp_2}] \cdot A_{Fe} \quad [W]$$

$\lambda_{WL,konv}$ = Wärmeleitfähigkeit des Scheibenzwischenraums [W/(m K)],

d_{Spalt} = Spaltbreite [m],

T_{Sp_1} = Temperatur am Spalt 1 [K],

T_{Sp_2} = Temperatur am Spalt 2 [K],

A_{FE} = Fensterfläche [m²].

Gleichung 2-17: Wärmestrom durch Gasleitung und Konvektion zwischen den Scheiben

Die Wärmeleitung in den Glasscheiben $\dot{Q}_{WLFe,iS}$ kann analog der Wärmeleitfähigkeit und ihrer Schichtdicke sowie der verbundenen Temperaturänderung berechnet werden. Dabei wird das Fenstermodell in $s = 1, \dots, n$ Scheiben betrachtet und je Scheibe s die Wärmeleitung nachgewiesen.

$$\dot{Q}_{WL_{Fe,iS}} = \sum_{s=1}^n \frac{\lambda_s}{d_s} \cdot [T_{s1} - T_{s2}] \cdot A_{Fe} \quad [\text{W}]$$

λ_s = Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit der Schicht s [W/(m K)],

d_s = Dicke der Schicht s mit (s=1,...,n) [m],

T_{s1} = Temperatur an der Scheibe s=1 [K]

T_{s2} = Temperatur an der Scheibe s=2 [K].

Gleichung 2-18: Wärmeleitung in den Scheiben

Der Wärmeübergang an den Innen- und Außenflächen kann mit den Gleichungen 2-5 und 2-7 für das Fenstermodell abgeleitet werden und führt zu folgendem summierten Wärmestrom:

$$\dot{Q}_{IF_{Fe}} + \dot{Q}_{AF_{Fe}} = [k_{konvIF,Fe} \cdot (T_I - T_{FeIF}) + k_{konvAF,Fe} \cdot (T_{FeAF} - T_A)] \cdot A_{Fe} \quad [\text{W}]$$

$k_{konvIF,Fe}$ = Innerer konvektiver Wärmeübergangskoeffizient [W/(m² K)],

$k_{konvAF,Fe}$ = Äußerer konvektiver Wärmeübergangskoeffizient [W/(m² K)],

T_{FeIF} = Temperatur an der Bauteilinnenseite des Fensters [K],

T_{FeAF} = Temperatur der Fenster an der Aussenfläche [K].

Gleichung 2-19: Berechnung des Wärmeübergangs an den Innen- und Aussenflächen

Die Strahlungsgewinne durch die Fenster in das Gebäudeinnere können bestimmt werden, wenn die Absorptionskoeffizienten α_j und Wärmedurchlasswiderstände Λ_j der einzelnen Scheiben j sowie die diffuse und direkte Einstrahlung der Sonne bekannt sind [vgl. Feist, 1994, S. 205ff., vgl. Züricher, Frank, 1997, S. 34ff.].

$$\dot{Q}_{abs Fe} = \sum_{j=1}^m \left(\frac{\alpha_j}{\Lambda_j} \right) \cdot \left[\frac{I_{dir}}{\sin(h)} \cdot \cos(\varphi) + \frac{I_{diff}}{2} \right] \cdot U_{Fe} \cdot A_{Fe} \quad [\text{W}]$$

α_j = Absorption der Sonnenstrahlung in den Scheiben [-],

Λ_j = Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Scheiben [(m²K/W)].

Gleichung 2-20: Berechnung des Wärmestroms durch Absorption der Sonnenstrahlung

Die Sanierung der Fenster durch den Austausch der Verglasung kann anhand des Wärmedurchgangskoeffizienten U und der thermischen Einzelwiderstände für unterschiedliche Verglasungssysteme gekennzeichnet werden. So beinhaltet der Wärmedurchgangskoeffizient von Einfach – Verglasungen nur die Wärmeübergänge an den Innen- und Außenflächen sowie den Widerstand durch Wärmeleitung der Verglasung. Die Differenz zur analysierten 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung kann dann beispielsweise bestimmt werden zu

$$\Delta \dot{Q}_{Fe} = (\dot{Q}_{Fe1S} - \dot{Q}_{Fe2S}) = \left[\left(\frac{d}{\lambda} - \sum_{j=1}^m \frac{d_j}{\lambda_j} \right) - \left(\sum_{j=1}^{m-1} \left\{ \frac{\lambda_{WL,konv}}{d_{spalt}} + \lambda_{str,zS} \right\} \right)^{-1} \right]^{-1} \cdot A_{Fe} \cdot \Delta T \quad [\text{W}]$$

$\lambda_{str,zS}$ = Wärmeleitfähigkeit des Scheibenzwischenraums durch Strahlung $[\text{W}/(\text{m K})]$,

ΔT = Temperaturdifferenz $[\text{K}]$.

Gleichung 2-21: Ermittlung des Einsparpotenzials durch die Sanierung der Fenster

2.4 Thermische Modellierung von Heizungsanlagen von der Erzeugung bis zur Verteilung

Wärmeerzeugung und Wärmespeicherung

Ein neuer Wärmeerzeuger hat einen nach der Studie [Kleemann et al., 2003a, S. 48] wesentlich besseren Nutzungsgrad als eine bereits veraltete Anlage. Durch den Austausch eines Heizkessels können Einsparungen von 20 bis 30 % erreicht werden, der durch die Umstellung von Öl auf Gas nach Herstellerangaben auf bis zu 33 % theoretisch gesteigert werden kann. In der Realität kann von solchen Zuständen bei energetischen Modernisierungen des Heizkessels nicht immer ausgegangen werden, weil einerseits die alte Heizung nicht optimal an den neuen Heizkessel angepasst ist, der Brennwerteffekt nicht vollständig genutzt werden kann und andererseits der energetische Einfluss des Schornsteins meist nicht richtig bei der Energiebilanzierung erfasst wird. Der Nutzungsgrad der Feuerungsanlage und somit der Nutzwärmestrom hängt vor allem von folgenden Faktoren ab:

- Abgasverluste,
- Strahlungs- und Bereitschaftsverluste,
- Feuerungsleistung der Anlage.

Die wesentlichen Verluste bei der Wärmeerzeugung der Energieumsetzung im Heizkessel entstehen durch im Abgas mitgeführte Verlustwärme (Abgasverluste \dot{Q}_A), Oberflächenverluste des Heizkessels während des Brennerbetriebes (\dot{Q}_S) und bei Stillstand (\dot{Q}_B). Für den Wärmeerzeuger, dem ein Warmwasserspeicher nachgeschaltet ist, lassen sich im Falle eines ideal durchmischten Speichers die folgenden Betriebszustände in Anlehnung an [Eisenmann, 1997, S. 96] definieren.

Erfolgt eine Brennstoffzufuhr in den Heizkessel, so gilt die Bilanzgleichung:

$$(a) \quad \dot{Q}_N = \dot{Q}_F - \left[\dot{Q}_A + \dot{Q}_S + C_{HK} \frac{\partial T_{HK}}{\partial t} \right] \quad [W],$$

Ist der Brenner nicht in Betrieb, gilt folgende Gleichung:

$$(b) \quad \dot{Q}_N = - \left[\dot{Q}_B + C_{HK} \frac{\partial T_{HK}}{\partial t} \right] \quad [W].$$

\dot{Q}_N = Nutzwärmestrom [W],

\dot{Q}_B = Bereitschaftsverluste [W],

\dot{Q}_F = Feuerungsleistung [W],

\dot{Q}_A = Abgasverluste [W],

\dot{Q}_S = Oberflächenverluste des Heizkessels während des Brennerbetriebes [W],

C_{HK} = Wärmekapazität des Heizkessels [J/K],

T_{HK} = Temperatur des Heizkessels [K].

Gleichungen 2-22 a und b: Nutzwärmestrom eines Wärmeerzeugers

Der Abgasverlust, der durch den Unterschied des Wärmeinhalts der Abgase im Schornstein und der Verbrennungsluft verursacht wird, stellt mit Abstand den größten Verlust dar. Der Bereitschaftsverlust ist der Wärmehaushalt, der erforderlich ist, um den Kessel auf einer Temperatur zu halten, wenn keine Wärmeleistung abgenommen wird. Er wird relativ zur Feuerungsleistung angegeben. Der Strahlungsverlust hängt ab von der mittleren Temperatur des Heizwassers, der Dimensionierung des Heizkessels und der Größe der nicht wärmegeprägten Oberflächen.

Wird unterstellt, dass die Verluste des Heizkessels nahezu linear von der Heizkesseltemperatur abhängen, so ergeben sich durch die Anwendung der Dämmung und neuerer Heizkessel mit gesenkten Nenntemperaturen die aufgeführten Beziehungen für die Energieeinsparungsdifferenzen.

Die Energieeinsparung bei verringerten Abgasverlusten $\Delta\dot{Q}_{Abg}$:

$$(a) \Delta\dot{Q}_{Abg} = \dot{Q}_F \cdot (q_{Abg,n,0} - q_{Abg,n,1}) \cdot \left[1 - \frac{\gamma(T_{HK,n,0} - T_{HK,n,1}) - T_{HK}}{(T_{Abg,n,0} - T_{Abg,n,1}) - T_{I,HR}} \right] \quad [W],$$

Reduktion des Energieverbrauchs durch verminderte Strahlungsverluste $\Delta\dot{Q}_{Str}$:

$$(b) \Delta\dot{Q}_{Str} = \dot{Q}_F \cdot (q_{str,n,0} - q_{str,n,1}) \cdot \left[\frac{T_{HK} - T_{I,HR}}{(T_{HK,n,0} - T_{HK,n,1}) - T_{I,HR}} \right] \quad [W],$$

Verringerung der Bereitschaftsverluste des Heizkessels $\Delta\dot{Q}_B$:

$$(c) \Delta\dot{Q}_B = \dot{Q}_F \cdot (q_{B,n,0} - q_{B,n,1}) \cdot \left[\frac{T_{HK} - T_{I,HR}}{(T_{HK,n,0} - T_{HK,n,1}) - T_{I,HR}} \right] \quad [W].$$

$\Delta \dot{Q}_{Abg}$	= Energieeinsparung bei verringerten Abgasverlusten [W],
$\Delta \dot{Q}_{Str}$	= Energieeinsparung bei verringerten Strahlungsverlusten [W],
$\Delta \dot{Q}_B$	= Energieeinsparung bei verringerten Bereitschaftsverlusten [W],
$q_{Abg,n,t}$	= Nennabgasverluste zum Zeitpunkt t [-],
$q_{str,n,t}$	= Nennstrahlungsverluste zum Zeitpunkt t [-],
$q_{B,n,t}$	= Nennbereitschaftsverluste zum Zeitpunkt t [-],
$T_{HK,n,t}$	= Heizkesselnennntemperatur zum Zeitpunkt t [°C],
T_{HK}	= Heizkesseltemperatur [°C],
$T_{I,HR}$	= Temperatur des Heizraums [°C],
$T_{Abg,n,t}$	= Nennabgastemperatur zum Zeitpunkt t [°C],
γ	= Proportionalitätsfaktor zwischen Heizkessel- und Abgastemperatur [-].

Gleichungen 2-23a, b und c: Potenziale zur Verringerung der Wärmeverluste eines Wärmeerzeugers

Wärmeübergabe

In Heizflächen wird die vom Wärmeerzeuger über ein Wärmeträgermedium gelieferte Wärme an die Raumluft übertragen. Diese Heizflächen, die in der Realität häufig als Heizkörper zu finden sind, können unter anderem auch Fußboden- und Deckenheizungen sein. Je nach System besteht der abgebende Wärmestrom aus unterschiedlichen Anteilen für Strahlung und Konvektion. In den weiteren Ausführungen werden Heizflächen an Heizkörperheizungen betrachtet.

Diese Heizflächen können durch das Beukenmodell und seine Einbindung in das Raummodell [Feist, 1994] bestimmt werden. Danach werden die Heizflächen durch in Reihe geschaltete Widerstände, die mit Wärmekapazitätselementen verbunden sind, dargestellt. Am Heizflächenknoten gibt die Heizflächenoberfläche Wärme durch Konvektion und Strahlungsaustausch an die Luft des Raumes ab. Das instationäre thermische Verhalten der Heizflächen lässt sich mit dem Massenstrom des Wärmeträgermediums mit einem Energiestrom in einer linearisierten Funktion [Eisenmann, 1997, S. 87ff.] beschreiben und in der nachfolgenden Gleichung 2-24 für n wärmedurchströmte Heizflächen darstellen.

$$\dot{Q}_{He_n} = \left[\dot{m}_w \cdot \rho_w \cdot c_w - C_{HF} \cdot \frac{\partial T_{HF}}{\partial t} \right] \cdot \left[\frac{(T_{HF} - T_I)}{(T_{N,HF} - T_I)} \right]^{n-1} \quad [\text{W}]$$

\dot{m}_w = Massenstrom des Wärmeträgermediums [m^3/s],

ρ_w	= Dichte des Wassers [kg/m^3],
c_w	= Spezifische Wärmekapazität des Wassers [$\text{J}/(\text{kg K})$],
C_{HF}	= Wärmekapazität der Heizfläche [J/K],
T_{HF}	= Temperatur der Heizfläche [K],
$T_{N,HF}$	= Nenntemperatur der Heizfläche [K].

Gleichung 2-24: Wärmestrom durch wärmedurchströmte Heizflächen

Das Thermostatventil hat die Aufgabe, die Wärmeabgabe eines Heizkörpers durch mehr oder weniger starkes Drosseln des Heizwasserstroms dem jeweiligen Raum-Wärmebedarf anzupassen. Abweichungen von der gewünschten Raumtemperatur können durch Fremdwärmegewinne wie Beleuchtung oder Sonneneinstrahlung hervorgerufen werden.

Wenn sich der Raum infolge von Sonneneinstrahlung über den gewünschten Wert hinaus aufheizt, wird der Heizwasser-Volumenstrom automatisch durch das Ventil reduziert. Umgekehrt öffnet das Ventil selbsttätig, falls die Temperatur zum Beispiel nach dem Lüften niedriger ist als gewünscht. So kann mehr Heizwasser durch den Heizkörper fließen und die Raumtemperatur steigt wieder auf den gewünschten Wert an.

Wärmeverteilung

Die Ermittlung des Wärmestroms für die Wärmeabgabe des Verteilsystems der Heizungsanlage kann generell nach zwei Ansätzen durchgeführt werden. Denn einerseits tritt eine Wärmeverlustmenge von ständig durchströmten Heizrohren auf und andererseits werden manche Leitungen nur periodisch durchströmt. Periodisch durchflossen werden diejenigen Heizungsleitungen, die nur bei der Wärmeanforderung der Heizflächen erwärmt werden.

Im Heizungskreislauf und in der Warmwasserleitung geht laufend Wärme ungenutzt an Mauerwerk und Umgebungsluft verloren. Bei Heizrohrnetzen, die als Bedarf den an der Wärmeübergabe benötigten Wärmestrom bereitzustellen haben, ist der Aufwand durch die Wärmeabgabe der Rohrleitungen an die Umgebung gegeben.

Die Wärmeabgabe des gesamten Wärmeverteilnetzes kann über die mittlere Heizmitteltemperatur bei mittlerer Belastung der Temperatur nach [Hirschberg, 2002] bestimmt werden. Die Verlustleistung ist die Summe aller Einzelwiderstände jedes Rohrabschnitts der Länge L . Der Energieverlust für jeden Rohrabschnitt ergibt sich dabei aus der mittleren, ständigen Heizmitteltemperatur durch Leitungen T_{st} bzw. periodisch T_{pe} und der mittleren Temperatur der umgebenden Luft T_l sowie der spezifischen

Wärmeverlustleistung je Heizungsrohr. Durch die Dämmung des Verteilungssystems kann demnach folgende Energieeinsparung erzielt werden:

$$\Delta \dot{Q}_{He_{Vert}} = \left\{ \sum_a \left[\frac{(k_0 - k_1) \cdot A}{L} \right]_{st,a} (\bar{T}_{st} - T_{I^*}) \cdot L \right\} + \left\{ \sum_b \left[\frac{(k_0 - k_1) \cdot A}{L} \right]_{pe,b} (\bar{T}_{pe} - T_{I^*}) \cdot L \right\} \quad [\text{W}]$$

k_0 = Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient vor der Sanierung [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$],

k_1 = Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient nach der Sanierung [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$],

L = Länge des Leitungsabschnitts [m],

\bar{T}_{st} = Mittlere Rohrinnentemperatur ständig durchströmter Leitungen [K],

\bar{T}_{pe} = Mittlere Rohrinnentemperatur periodisch durchströmter Leitungen [K],

T_{I^*} = Mittlere Umgebungstemperatur der Luft [K],

st = Ständig durchströmte Heizrohre mit der Anzahl a [],

pe = Periodisch durchströmte Heizrohre mit der Anzahl b [].

Gleichung 2-25: Reduzierter Wärmestrom durch Dämmung des Verteilungssystems

Zusammenfassung

Bei der Modellierung der Gebäudehülle für das energetische Sanierungsmodell werden die beschriebenen detaillierten bauphysikalischen und anlagentechnischen Grundlagen in vereinfachten Berechnungen berücksichtigt.

3. Methodik und Datenbasis für ein energetisches Sanierungsmodell

3.1 Grundlegende Anforderungen an die Methode und das Sanierungsmodell

Neben der Errichtung energieeffizienter Neubauten sind insbesondere energetische Sanierungen von Altbauten zur effektiven Senkung der Energieverbräuche und der CO₂-Emissionen im Wohngebäudesektor erforderlich. Entsprechend den technischen Grundlagen stellt die Sanierung der Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage eine geeignete Maßnahme dar. Die Potenziale variieren dabei aufgrund der Einflussfaktoren auf die Alterung und den wärmetechnischen Zustand von Fall zu Fall.

Da in der Praxis weder eine detaillierte Charakterisierung der Sanierungszustände der Altbauten noch ein umfassender Berechnungsansatz zur Bewertung von energetischen Sanierungen vorhanden ist, wird in der vorliegenden Arbeit ausgehend von einer gebäudetypologischen Datenbasis ein Sanierungsmodell erstellt. Mit diesem Modell können die Auswirkungen von Sanierungen auf den Energieverbrauch und die Emissionen berechnet werden. Aufgrund der Anwendung auf typbezogene Einzelgebäude können durch Hochrechnungen differenzierte Aussagen zu den Einsparpotenzialen im Wohngebäudebestand getroffen werden.

Aus den Zielsetzungen dieser Arbeit ergeben sich Anforderungen an das zu erstellende Instrumentarium zur Ableitung der Energieeinsparpotenziale durch energetische Sanierungen. Diese werden um grundsätzliche Anforderungen der Umwelt- und Systemtheorie ergänzt [Kollmann, 2006] und insgesamt auf das zu entwickelnde Sanierungsmodell übertragen.

Eine weitere Anforderung stellt die realitätsnahe Abbildung des Untersuchungsobjekts dar. Im Modell sind hierzu alle notwendigen Aspekte zu berücksichtigen und in einer einfachen sowie ausreichend genauen Abbildung darzustellen [vgl. Bossel, 1994, S. 35].

Da sich prinzipiell bei der wissenschaftlichen Theoriebildung die Richtigkeit eines Modells nicht beweisen lässt, sind Anforderungen zum Beleg der Gültigkeit für den Modellzweck erforderlich. Denn ein System in der Realität kann durch ein Modell ersetzt werden, wenn die Anforderungen an die Gültigkeit für den Modellzweck hinsichtlich Verhaltens-, Struktur-, empirische und Anwendungs-Gültigkeit bestimmt werden können [vgl. Kollmann, 2005]:

- Zur Erfüllung der Verhaltensgültigkeit muss ausgehend von den Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren in der Realität das gleiche Verhalten im Modell wiedergegeben werden [vgl. Bossel, 2004, S. 61f.].
- Die methodische Vorgehensweise erfordert für die Strukturgültigkeit des Sanierungsmodells die Verwendung von wissenschaftlich gesicherten Erkenntnissen und eine transparente Darstellung der Ausgangsbedingungen und Eingrenzungen für die Analyse [vgl. Häuslein, 1993, S. 107 ff.].
- Die empirische Gültigkeit setzt voraus, dass die Ergebnisse im Modell bei gleichen Bedingungen der Realität entsprechen [vgl. Bossel, 2004, S. 61f.].
- Für die Gültigkeit der Anwendung des Modells wird gefordert, bei der Erstellung zur Wahrung der Konsistenz Widersprüche zu vermeiden und alle Wirkungszusammenhänge vollständig zu erfassen. Auf der Basis dieser Prämissen können die Resultate des Modells nachvollzogen werden [vgl. Häuslein, 1993, S. 107 ff.].

3.2 Stand der Wissenschaft

Der Energieverbrauch im Wohngebäudebestand wird schon seit längerer Zeit mit den Methoden der Systemanalyse untersucht. Mehrere europäische Studien und Veröffentlichungen beschäftigen sich mit Teilbereichen, die für die Erstellung dieser Arbeit eine Grundlage bilden. Zur Kennzeichnung des Stands der Wissenschaft und zur Darstellung der Auswirkungen auf die vorliegende Arbeit werden diese Veröffentlichungen in den nachfolgenden Abschnitten näher erörtert.

Ansätze zur Erfassung des thermischen Verhaltens der Gebäudehülle

Zur Charakterisierung des thermischen Verhaltens der Gebäudehülle wurde eine Vielzahl von Untersuchungen durchgeführt. Die Verfahren sind teilweise für die praktische Nutzung bei der Planung und Auslegung von Gebäuden standardisiert worden, z. T. durch europäische Normen. Für eine verfeinerte Bilanzierung der einzelnen Wärmeströme sind mathematische Modelle zur Beschreibung der Wärmeleitung, der konvektiven und strahlungsbedingten Wärmeübergänge und des Luftaustauschs entwickelt worden [vgl. Feist, 1994, S. 35ff., Maas, 1995, Saal & Loose, 2004, S. 417ff., Felgner et al., 2002, Zürcher & Frank, 1997]. Die Wärmeerzeugung, -leitung und -verteilung der Heizungsanlage sind u. a. in [Hirschberg, 2002, S. 32ff., Eisenmann, 1997, Recknagel & Sprenger, 2005] beschrieben worden.

Die Optimierung der Wärmedämmung wird in Simulationsmodellen für die einzelnen Bauteile beispielsweise in den Veröffentlichungen von [Simmler, 2002, vgl. Karlsson & Roos, 2004, S. 71ff., Nussbaumer et al., 2005, S. 1107ff.] dargestellt. Ansätze zur Verbesserung des Luftaustauschs und der Abhängigkeit der Dämmung von der Klimaregion werden u.a. von [vgl. Rabenstein, 2006, S. 14ff.] und [Ebel & Kah, 2003] behandelt.

Die Modellierung der Gebäudehülle und die Bildung der Wärmestromdifferenzen durch energetische Sanierungen erfolgt in der vorliegenden Arbeit für die Wohngebäude auf der Grundlage der bauphysikalischen und anlagentechnischen Aspekte der bekannten Verfahren, die auf den europäischen Bestand anwendbar sind.

Berücksichtigung der Qualität der Bauausführung und des Nutzerverhaltens

Erkenntnisse aus der Forschung zeigen, dass die Einflüsse der Bauausführung sowohl den Neubau bei der Erstellung als auch den Altbau bei einer energetischen Modernisierung betreffen können. In den technischen Untersuchungen werden die Qualität der Bauausführung und der Wärmedämmung sowie die Anpassung der Heizungsanlage in einer Reihe von Veröffentlichungen näher erörtert [vgl. Esdorn, 1997, S. 34ff., Burkhardt & Kraus, 2006, Ihle, 1997, Richter & Knabe, 1999, Vorländer et al., 1998].

Die Einflüsse des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch durch die Qualität der Luftdichtheit des Wohngebäudes und der Anlagentechnik werden beispielsweise in Analysen von [vgl. Hall, 2004, S. 109ff., Liddament, 1986, Richter, 2002] betrachtet. Empirische Untersuchungen nach [vgl. Cramés & Bohrmann, 2002, S. 3ff., Richter & Knabe, 1999] zeigen, dass die Verhaltensweisen der Nutzer sehr variieren. Eine Abbildung der Nachfragecharakteristik erfolgt erstmals nach [vgl. Kraft, 2002, S. 87ff.] durch Kennzahlen der Nutzerprofile. Die aus diesen Veröffentlichungen abzuleitenden Einflüsse von Bauausführung und Nutzerverhalten werden in der vorliegenden Untersuchung im europäischen Bestand rechnerisch berücksichtigt.

Einfluss von Alterungsprozessen auf den Sanierungszyklus

In Untersuchungen von [Meyer, 1994, S. 20ff.] wird das Alterungsverhalten von Bauteilen der Gebäudehülle über die Zeit analysiert und führt zur Herleitung von charakteristischen Alterungskurven. In zahlreichen Veröffentlichungen werden die Einflüsse auf die Alterung von Bauteilen wie zum Beispiel [vgl. Rudbeck, 2002, S. 83ff., Hovde, 2004, S. 32ff., Moser, 2004, S. 62ff.] erörtert. Eine Untersuchung der Bauteile (u.a. der Gebäudehülle) nach [Balaras, 2005a, S. 515ff.] im Rahmen eines europäischen Projekts an fast 350 Wohngebäuden aus sieben europäischen Staaten liefert einerseits die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Alterung und andererseits die Korrelation zwischen diesen Faktoren und dem Alterungsprozess. Demnach stellen das Alter, die Besitzzugehörigkeit des Wohngebäudes und die Qualität der verwendeten Materialien sowie der Bauausführung die Hauptmerkmale für die Alterung dar. Für die Abbildung des Alterungsprozesses sind numerische Modelle entwickelt worden, die es ermöglichen, den Grad der erreichten Alterung zu bestimmen [Pavani et al., 2003, S. 553ff.]. Die Modellierung der Alterung kann nach [Hartung, 1998, S. 104ff., Garavaglia et al., 2004, S. 419ff., Henning & Klaproth, 2004, S. 9ff.] mit statistischen Methoden vorgenommen werden. In [Johnstone, 2001a, S. 31ff.] werden Überlebenswahrscheinlichkeiten für Gebäudebestände über ein Kohortenmodell geschätzt. Die Entwicklung von Lebenstafeln für Wohngebäudebestände aus Abbruchdaten und das Testen auf Überlebenskurven wird in Arbeiten von [Glesson, 1985, Glesson, 1986, Allen & Hinks, 1996] untersucht.

Was bisher in den Betrachtungen in Deutschland und auch europaweit fehlt, sind Analysen zu den zeitlichen Auswirkungen der Alterung auf die Sanierung und die Verteilung der Sanierungshäufigkeit. In der Veröffentlichung von [Kleemann & Hansen, 2005, S. 78f.] wird explizit auf diesen Forschungsbedarf hingewiesen.

Simulation von Einzelgebäuden und Gebäudebeständen

Das thermische Verhalten des Wohngebäudebestands ist Gegenstand der Untersuchung von zahlreichen Analysen wie zum Beispiel [Felgner et al., 2002, S. 579ff.] und [Zitzmann, 2006, S. 96ff.]. Die Basis für diese Untersuchungen kann die strukturelle und dynamische Modellierung des europäischen Wohngebäudebestands nach [Schwaiger, 2002] darstellen.

Da der Wohngebäudebestand ein dynamisches System ist, erfordert die Modellierung des Bestands den Einsatz von Simulationsprogrammen. Der Wärmebedarf von Wohngebäuden wird in Studien von [Rouvel, 2004, S. 24, Franzke & Rauch, 1988, S. 235] oder nach [VDI 2067, 1993] durch eine dynamische Simulation unter Berücksichtigung des instationären thermischen Verhaltens bestimmt. In der Veröffentlichung von [vgl. Feist, 1994, S. 35ff.] erfolgt auf der Basis von Einzelgebäuden eine Gegenüberstellung und Bewertung der vorhandenen Simulationsprogramme für die Durchführung von thermischen Gebäudesimulationen. In den Ingenieurwissenschaften existiert eine Vielzahl etablierter Simulationssysteme wie zum Beispiel Matlab/Simulink [Hoffmann, 1999], Dymola/Modelica [Pantelides, 1988, S. 213ff.] und Trynsys [Klein et al., 1996], die methodisch neue Entwicklungsprozesse unterstützen.

Ziel der Gebäude- und Anlagensimulation ist es nach [Feist, 1994], das thermische und energetische Verhalten eines realen oder fiktiven Gebäudes und seiner technischen Anlage sowie deren Interaktion nachzubilden. Gerade eine ganzheitliche Gebäudeplanung erfordert die adäquate Beschreibung realer Prozesse aus einem breiten Spektrum mathematischer, physikalischer und ingenieurwissenschaftlicher Disziplinen [Merz, 2002, S. 8].

Die Simulation von Gebäudebeständen wird in [Bader et al., 2002, S. 44ff.] und [Ferrara et al., 2001, S. 34ff.] mit der Anwendung von statistischen Methoden praktiziert. In [Ferrara, 2004, Bradley et al., 2005, S. 693ff.] wird ein Bestandsmodell für den deutschen Gebäudebestand analysiert. Ausgangspunkt war die Erstellung eines offenen dynamischen Modells des deutschen Gebäudebestandes, um Prognosen zum Einfluss von verschiedenen Bewirtschaftungsstrategien, gesetzlichen Normen und neuer Technologien zu erstellen und den Zusammenhang zwischen Alter und Abriss- bzw. Überlebenswahrscheinlichkeit zu beschreiben [Ferrara, 2004, S.1ff.].

Im Simulationsmodell für das Sanierungsverhalten von [Johnstone, 2001b, S. 97ff.] werden durch Überlebenswahrscheinlichkeiten Kosten für den Unterhalt von Beständen hergeleitet. Durch den Einsatz wahrscheinlichkeitstheoretischer Methoden werden nach [Bucher & Frangopol, 2006] optimale Bewirtschaftungsstrategien erstellt. Die Komplexität zur Modellierung von Gebäudebeständen wird in der Veröffentlichung von [Thuvander, 2002] untersucht.

Simulationsrechnungen zur Bestimmung der Effizienz von Sanierungen und zur Ermittlung der Sanierungshäufigkeit gibt es nach der Auffassung des Autors bisher nicht. Es fehlt ein Verfahren, dass aufbauend auf einer detaillierten Bestandssimulation und unter der Berücksichtigung der zeitlichen Verteilung der Sanierungshäufigkeit die Berechnung der quantitativen und qualitativen Wirkungen von Sanierungen ermöglicht.

3.3 Methodische Grundlagen zur Modellierung des Zeitpunkts der Sanierung

3.3.1 Definition der Lebensdauer

Für die Definition der Lebensdauer sind nach der Literatur allgemein zwei differenzierte Unterscheidungen möglich. So können für die jeweiligen Bauteile wirtschaftliche [Köhne, 1997, S. 2, Krug, 1985, S. 27ff] sowie technische Betrachtungsweisen nach [Menkhoff, 1995, S. 60ff., Pfeifer & Arlt, 2005, S.27ff.] durchgeführt werden, die nachfolgend weiter analysiert werden.

- a) Die wirtschaftliche Betrachtungsweise wird nach [Köhne, 1997, S. 2] durch den Begriff Nutzungsdauer repräsentiert. Die Nutzungsdauer beginnt nach der Baufertigstellung, wenn das Gebäude bezogen wird, und endet dann, wenn das Gebäude nicht mehr bewohnt wird oder bewohnt werden kann. In der Regel endet die Nutzungsdauer mit dem Abriss. Zu unterscheiden sind die Gesamtnutzungsdauer (entsprechender Neubauten) sowie die wirtschaftliche Restnutzungsdauer (des zu bewertenden Objektes). Die Nutzungsdauer wird allgemein durch die wirtschaftliche Nutzung bestimmt. Wirtschaftlichkeit ist z.B. bei vermieteten Gebäuden gegeben, wenn die Erhaltungskosten für den Vermieter deutlich geringer sind als die Mieteinnahmen. Für den Eigennutzer ist Wirtschaftlichkeit gegeben, solange die Kosten (Hypotheken, Reparaturen usw.) niedriger sind als die alternativen Mietkosten für eine entsprechende Wohnung. Allerdings spielen häufig auch nichtwirtschaftliche Gründe eine wichtige Rolle bei der Nutzung von Gebäuden oder Wohnungen, wie z.B. Nähe zum Arbeitsplatz oder das Umfeld. Zu berücksichtigen ist allerdings auch, dass es zweckmäßig sein kann, ein Wohngebäude vorzeitig durch ein wirtschaftlicheres, moderneres, oder schöneres zu ersetzen. Technische Gesichtspunkte gehen in Form von Kosten in die Wirtschaftlichkeitsrechnungen ein. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer bzw. Restnutzungsdauer kann nie größer sein als die technische Lebensdauer bzw. die technische Restlebensdauer.
- b) Bei der technischen Betrachtungsweise wird mit dem Begriff der technischen Lebensdauer gearbeitet. Folglich werden die technische Gesamtlebensdauer sowie die technische Restlebensdauer unterschieden. Beide werden in erster Linie durch den Zustand und die Lebensdauer des Materials bestimmt. Weswegen auch ein schleichender Verfall wahrgenommen werden kann, wenn einzelne Bauteile bereits ausgefallen sind. Die technische Lebensdauer kann allerdings durch Reparaturen, Sanierungen und Modernisierungen immer wieder verlängert werden. Wirtschaftliche Gesichtspunkte spielen dabei eine untergeordnete Rolle. Sie werden in der Regel aber insoweit berücksichtigt, wie sich der Erhaltungsaufwand letztlich nicht mehr lohnt und

damit das Ende der Lebensdauer des Wohngebäudes erreicht ist [vgl. Köhne, 1997, S. 2f.].

In der Literatur lassen sich weitere Studien und Analysen zur Ermittlung der Lebensdauer von Bauteilen, beispielsweise in [BMVBW, 2001, 2002, IEMB, 1998, 2004], finden.

Die Lebensdauer der Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage wird in dieser Arbeit durch die technische Alterung bestimmt. Das Baujahr ist der Beginn der technischen Alterung. Durch das Baujahr eines Wohngebäudes wird das Alter und zugleich die Konstruktion, die Materialverwendung, die Gebäude- und Raumgeometrie sowie die Raumorganisation bestimmt [Schwaiger, 2002, S. 134].

Nach [vgl. Meyer, 1994, S. 20ff] ist die technische Lebensdauer bis zum Erreichen einer starken Schadhaftheit gegeben, bei der eine einfache Instandsetzung aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht mehr sinnvoll ist. Spätestens wenn ein Bauteil die Grenze von stark schadhaftem zu irreparablen Zustand erreicht, sollte es zur Vermeidung von Folgeschäden größeren Ausmaßes ersetzt werden. Denn erfolgen Sanierungen erst bei dem Erreichen oder Überschreiten dieser Grenze, so kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch Folgeschäden für weitere Bauteile entstehen.

Vor diesem Hintergrund kann die Lebensdauer der betrachteten Bauteile durch einen Zeitraum Δt_L bestimmt werden, der zunächst mit dem Baujahr des Wohngebäudes beginnt t_A und spätestens mit dem Erreichen einer technischen Ersatzgrenze Δt_S endet. Diese Ersatzgrenze ist nicht ein fester Zeitpunkt, sondern vielmehr ein Intervall, welches einerseits von den Einflüssen auf die Alterung und andererseits vom Nutzer abhängt sowie durch den Übergang zu stark schadhaftem Verhalten gekennzeichnet ist. Der Zeitraum für die Lebensdauer eines Bauteils u kann wie folgt definiert werden:

$$\Delta t_{L_u} = \Delta t_{S_u} - t_{A_u} \quad [a]$$

Δt_{L_u} = Zeitraum der Lebensdauer für ein Bauteil u [a],

Δt_{S_u} = Jahr, in dem die technische Ersatzgrenze des Bauteils u erreicht ist [a],

t_{A_u} = Baujahr bzw. Installierung des Bauteils u [a].

Gleichung 3-1: Definition der Lebensdauer

3.3.2 Das Renovierungsintervall und die technische Lebensdauer

Renovierungszyklus und Renovierungsintervall

Der natürliche und kontinuierliche Alterungsprozess der Bauteile führt zum Erreichen der technischen Lebensdauer. Um die Funktionsfähigkeit eines Bauteils wieder herzustellen, ist die Durchführung einer Sanierung (oder Erneuerung) notwendig. Bezogen auf die technische Alterung kann für das Bauteil von einer minimalen und maximalen Lebensdauererwartung ausgegangen werden, die mit dem Erreichen der technischen Ersatzgrenze bestimmt werden können. Zur Beschreibung des Renovierungszyklus kann daher ein Intervall, dessen Grenzen durch eine minimale und maximale Lebensdauer repräsentiert werden, definiert werden:

$$\Delta t_{R_u} = [t_{\min}; t_{\max}]$$

Δt_{R_u} = Renovierungsintervall des Bauteils u in einem Gebäudebestand $[a]$,

t_{\min} = Minimale Lebensdauer (kürzester Renovierungszyklus) $[a]$,

t_{\max} = Maximale Lebensdauer (längster Renovierungszyklus) $[a]$.

Gleichung 3-2: Definition des Renovierungsintervalls

Der Renovierungszyklus bezieht sich auf ein Bauteil. Er kann von Bauteil zu Bauteil und von Gebäude zu Gebäude unterschiedlich lang sein. Unterschiedlich lange Renovierungszyklen beschreiben ein Renovierungsintervall. Es sei hier schon darauf hingewiesen, dass sich Renovierungszyklen in der Praxis nicht immer nach der Lebensdauer richten, sondern auch nach anderen Kriterien wie Verkauf des Hauses, Verbesserung des Wohnkomforts etc..

Technische Lebensdauer der Bauteile

Die mittlere technische Lebensdauer t_{L_m} der Bauteile kann bei einer Häufigkeitsverteilung f_t aus den Grenzen des Renovierungsintervalls bestimmt werden und lässt sich wie folgt formulieren:

$$t_{L_m} = \Delta t_{R_{u,m}} = \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} t \cdot f(t) dt$$

t_{L_m} = Mittlere technische Lebensdauer $[a]$,

t = Nutzungszeit $[a]$,

3.3.2 Das Renovierungsintervall und die technische Lebensdauer

$f(t)$ = Häufigkeitsverteilung für den Verlust der Funktionsfähigkeit von $t = t_{\min}$ bis

$$t = t_{\max} [a].$$

Gleichung 3-3: Berechnung der mittleren technischen Lebensdauer eines Bauteils u aus der Häufigkeitsverteilung

Die technische Lebensdauer wird hier mit der Nutzungsdauer gleich gesetzt. Sie beginnt mit dem Bau und endet mit dem Zeitpunkt des Funktionsverlustes. Spätestens am Ende der technischen Lebensdauer erfolgt entweder eine vollständige Erneuerung oder ein Abriss. Grundsätzlich ist es möglich, das Ende der technischen Lebensdauer durch einen entsprechenden Aufwand für Reparaturen und Instandhaltung zeitlich hinauszuschieben, außer bei Totalschäden.

Tabelle 3-1 zeigt für verschiedene Bauteile der Gebäudehülle und für die Heizung nach [Kleemann & Hansen, 2005, S. 56] Zeitspannen für übliche technischen Lebensdauern in Deutschland. Die Zahlen stammen aus der Sanierungspraxis und variieren in einem relativ großen Bereich. Gründe für die Streubreite sind die unterschiedliche Qualität der Materialien und der Bauteile, die verschiedenen Belastungen bei der Nutzung und der mögliche Einfluss von kleineren Reparaturen.

Bauteile	Lebensdauer in Jahren	
	Min.	Max.
Fassaden	30	60
Steildach	40	60
Flachdach	20	40
Dach	20	60
Fenster	25*	50*
Keller	30	50
Gesamte Gebäudehülle	20	60
Heizung	12	35

*) von [Gruson, 1993] abweichend

Tabelle 3-1: Technische Lebensdauern von Bauteilen in Jahren für Deutschland

3.4 Simulationsrechnungen zur Analyse von energetischen Sanierungen

3.4.1 Auswahl des methodischen Ansatzes

Die Simulation der Alterungsprozesse erfolgt in der Praxis häufig durch den Einsatz numerischer Modelle. Dabei werden folgende methodischen Ansätze zur Abbildung des Alterungsprozesses verwendet:

1. Wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz

Bei der Verwendung der Wahrscheinlichkeitstheorie können nach [vgl. Pavani et al., 2003, S. 553ff.] zur Simulation der Alterung zwei verschiedene Ansätze definiert werden. Der Alterungsprozess über die Zeit ist dabei als stochastischer Prozess in Abhängigkeit von einer Zufallsvariablen definiert, die entweder den Verlust der Funktionsfähigkeit oder die Lebensdauer eines Bauteils analysiert.

a) Wird ein signifikanter Verlust der Funktionsfähigkeit eines Bauteils in einer bestimmten Nutzungszeit unterstellt, so kann der Alterungsprozess als Reliabilitätsproblem betrachtet werden. Diese Reliabilität ist definiert als Wahrscheinlichkeit, dass ein Bauteil den vorgegebenen Verlust der Funktionsfähigkeit erst nach einer Zeit t erreicht.

$$\bar{R}_u(t) = P_u(\bar{T} > t) = 1 - F_{u\bar{T}}(t)$$

$\bar{R}_u(t)$ = Reliabilitätsfunktion eines Bauteils u in der Nutzungszeit t ,

$P_u(\bar{T} > t)$ = Wahrscheinlichkeit des Verlusts der Funktionsfähigkeit nach t ,

$F_{u\bar{T}}(t)$ = Funktion für die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Bauteils u in t .

Gleichung 3-4: Berechnung der Reliabilitätsfunktion

Mit der Funktion für die Ausfallwahrscheinlichkeit kann jede Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit bis zum vollständigen Verlust dargestellt werden.

b) Der Alterungsprozess erfolgt kontinuierlich über der Lebensdauer, so dass jeder Zeit t ein bestimmter Grad der erreichten Alterung zugewiesen werden kann. Gleichzeitig kann mit der Dichtefunktion die Ausfallrate bestimmt werden. Dabei ist die Ausfallrate als Wahrscheinlichkeit für das Erreichen der technischen Lebensdauer in der Zeit t definiert.

Ein Vergleich der beiden wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansätze zeigt, dass der Alterungsprozess nahezu identisch über der Nutzungszeit verläuft. Dabei führt der kontinuierliche Alterungsprozess über der Nutzungszeit zu einem früheren Ausfallverhalten [vgl. Pavani et al., 2003, S. 555, Garavaglia, 2004, S. 424].

2. Deterministischer Ansatz

Die Modellierung der Alterung nach dem deterministischen Ansatz erfolgt auf der Basis eines Differential-Modellansatzes, in dem folgende Annahmen unterstellt sind:

Der Verlust der Funktionsfähigkeit wird in Zeitintervallen untersucht, der sich mit der Nutzungszeit vermindert, so dass der größte Verlust im ersten Zeitintervall stattfindet. Es findet in der Nutzungszeit keine Erneuerung des Bauteils statt.

Ausgehend von diesen Annahmen kann die Modellierung durch folgende Gleichungen vollzogen werden:

$$y'(t) = A_y(t) + B_y(t - C) \quad \text{und} \quad y_u(t) = K_u$$

$y'(t)$ = Zeitabhängige Nutzungszeit des Bauteils u [a],

K_u = Anfangsverlust der Funktionsfähigkeit des Bauteils u ,

A, B, C = Zu bestimmende deterministische Parameter.

Gleichungen 3-5 und 3-6: Berechnung der Alterung nach dem deterministischen Ansatz

3. Weitere Ansätze zur Vorausberechnung der Alterung

Mit dem Ansatz von [vgl. Brandt et al., 2000, S. 167ff.] wurde darüber hinaus eine Methode zur Vorausberechnung der Alterung entwickelt. Die Charakterisierung der Alterungszustände wird dabei nach Klassen qualitativ differenziert betrachtet. Die Vorausberechnung der Alterung und die Forderung an die Alterungsbeständigkeit sind in verschiedenen nationalen Anforderungen an Wohngebäude behandelt worden [vgl. Rudbeck, 2002, S. 83ff.]. Dabei werden Methoden für die Referenz und die Zukunft der Nutzungszeit entweder nach der Faktormethode [vgl. Hovde, 2004, S. 32ff.] oder nach dem wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatz bestimmt [vgl. Moser, 2004, S. 62ff.]. Die Faktormethode kann, da die einzelnen Faktoren häufig nur geschätzt werden und die Unsicherheiten und Fehler sich somit mit jedem Faktor potenzieren, nur als modelltheoretischer Ansatz verwendet werden.

Bei der Durchführung von Lebensdaueranalysen ist u.a. nach [vgl. Hartung, 1998, S. 104ff.] für nicht beobachtbare oder empirisch ableitbare Ereignisse die Statistische Momenten-Methode anzuwenden. Sie ermöglicht die Approximation der beobachteten Lebensdauerverteilung als theoretische Verteilung. Diese Methode arbeitet mit dem Wahrscheinlichkeitsansatz und besitzt als wesentliche Kenngrößen die Ausfallverteilung, die Ausfalldichte und die Ausfallrate.

Bewertung der methodischen Ansätze

Sowohl die wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansätze als auch der deterministische Differential-Modellansatz sowie die weiteren Ansätze zur Vorausberechnung der Alterung führen zu qualitativ vergleichbaren Resultaten. Der wahrscheinlichkeitstheoretische Ansatz mit einem kontinuierlichen Alterungsprozess bietet jedoch einen detaillierteren Überblick über den erreichten Stand der Alterung, während der deterministische Ansatz und die Faktormethode unter Beachtung der Unsicherheiten nur eine grobe Berechnung der zukünftigen Alterung zulassen [vgl. Pavani et al., 2003, S. 558]. Insgesamt hat dieser wahrscheinlichkeitstheoretische Ansatz folgende Vorteile:

- Realistischere und genauere Modellierungen und Berechnungen sind möglich, weil bei Gebäudebeständen große Stichproben vorliegen, in denen alle Rechenparameter eine statistische Verteilung (Weibullverteilung, Häufigkeitsverteilung) aufweisen.
- Bisherige Rechnungen mit einem Mittelwert für die jährliche Sanierungsrate eines Bauteils können ersetzt werden.
- Verschiedene Parameter, wie der flächenspezifische Verbrauch oder die Lebensdauer können durch dasselbe mathematische Modell beschrieben werden.

Die Nachteile dieses Ansatzes liegen vor allem in einem höheren Datenaufwand. Zum Teil sind keine ausreichenden Daten verfügbar, weil existierende Rechenverfahren nicht auf diese Methode ausgelegt sind.

Übertragung des wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatzes auf den Alterungsprozess des Gebäudebestands

In der herkömmlichen Methode zur Berechnung der Sanierungsrate wird aufgrund unzureichender Daten mit gleichverteilten Renovierungszyklen gearbeitet. Dabei werden in der Regel Intervalle für die Lebensdauer der Bauteile angegeben, in denen die Häufigkeit konstant angenommen wird. In der vorliegenden Arbeit wurde der wahrscheinlichkeitstheoretische Ansatz als Arbeitshypothese zur realitätsnahen Abbildung der Alterungsprozesse ausgewählt und erstmals auf den Gebäudebestand übertragen. Diese Arbeitshypothese soll als Grundlage für die Ermittlung der Sanierungshäufigkeit der Bauteile der Gebäudehülle sowie der Heizungsanlage und der Entwicklung des Sanierungsmodells dienen.

3.4.2 Betrachtete Effekte

Für die Analyse der energetischen Sanierungen von Wohngebäuden wird auf der Basis eines wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatzes der Zusammenhang zwischen der Alterung und dem Zeitpunkt der Sanierung untersucht. Gegenstand der Untersuchung sind die Bauteile der Gebäudehülle und die Heizungsanlage. Da der Alterungsprozess der Bauteile

von Einflussfaktoren abhängig ist, werden mit diesem Ansatz der Zeitraum der Sanierungen und zugleich die Verteilung der Sanierungshäufigkeiten erörtert. Die Abbildung der zeitlichen Sanierungshäufigkeiten erfolgt bei diesem Ansatz durch den Einsatz von Weibull-Verteilungen.

Auf der Grundlage dieses Ansatzes wird ein Instrumentarium zur Analyse der Einsparungen von Raumwärme und CO₂-Emissionen durch energetische Sanierungen von Wohngebäuden entwickelt. Dabei werden insbesondere die Effekte der zeitlichen Verteilung der Sanierungshäufigkeiten auf die Ableitung von Sanierungspotenzialen untersucht. Die Auswirkungen dieser Sanierungspotenziale werden sowohl hinsichtlich der Quantität als auch der Qualität sowie der Effizienz von energetischen Sanierungen analysiert und bewertet.

3.4.3 Berechnungsansatz

Die Energieeinsparpotenziale durch Sanierungen im Wohngebäudesektor werden durch Berechnungen an definierten Einzelgebäuden (typbezogene mittlere Gebäude) ermittelt. Auf der Basis eines Top-Down-Ansatzes werden Typgebäude für einen nach Altersklassen differenzierten Gebäudebestand bestimmt. Zur Beschreibung der energetischen Ausgangssituation wird der vorhandene Sanierungszustand der verschiedenen Typgebäude durch eine Zeitreihenanalyse erörtert. Die Betrachtung dient als Prämisse für die Berechnung von Raumwärmereduktionen durch die Sanierung der Bauteile der Typgebäude, die unter der Berücksichtigung der europäischen Normen [EN 832, 2003, EN 12831, 2003, EN 13790, 2003] und den Anforderungen an die nationalen Normen erfolgt.

Die Resultate der Einzelgebäudeberechnungen werden mit einem Bottom-Up Ansatz hochgerechnet. Ausgehend von den Typgebäuden und einer detaillierten Gebäude-Datenbasis werden Hochrechnungen innerhalb der jeweiligen Altersklassen durchgeführt und die Ergebnisse der Altersklassen summiert. Die differenzierte Betrachtung der Typgebäude ermöglicht durch die Hochrechnung die Ausweisung von jährlichen und bauteilspezifischen Minderungspotenzialen für die Raumwärmeenergie und die CO₂-Emissionen.

3.5 Anforderungen an ein energetisches Sanierungsmodell

Das Sanierungsmodell für den europäischen Wohngebäudebestand wird auf der Basis eines Top-Down Ansatzes entwickelt. Ausgehend von Parametern zur Wohnungswirtschaft, den Energieverbräuchen und den zugehörigen Energieträgerstrukturen werden im Modell die Alterungsprozesse der Bauteile und die Auswirkungen auf die Sanierungshäufigkeit unter der Definition von Sanierungsparametern analysiert. Diese Untersuchung dient unter Beachtung

einer detaillierten Datenbasis der Entwicklung von Szenarien, die Optionen zur Reduktion des Energiebedarfs und den CO₂-Emissionen aufzeigen sollen. Die Struktur wird auf der Grundlage einer Excelplattform erstellt (vgl. Abbildung 3-1).

Im Modell wird der Alterungsprozess der Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage durch einen wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatz abgebildet. Ausgehend vom Baujahr eines Wohngebäudes kann durch die Entwicklung von Sanierungsparametern und der Anwendung dieses Ansatzes die Sanierungshäufigkeit simuliert werden. Die Berechnung kann differenziert nach den verschiedenen Gebäudetypen, Altersklassen und betrachteten Bauteilen durchgeführt werden.

Durch die resultierenden Verteilungen für die Sanierungshäufigkeiten können im Modell jährliche Sanierungsraten hergeleitet werden. In Bezug auf den Wohngebäudebestand ermöglicht das Modell durch diese Simulation eine quantitative Bewertung der durchzuführenden Sanierungen. Die Kombination der Sanierungsraten mit den Energieeinsparpotenzialen, die sich aus der Differenz der energetischen Anforderungen bei Sanierungen und dem analysierten Ausgangszustand ergeben, können im Modell zur Ableitung der möglichen Verringerung des Raumwärmeverbrauchs genutzt werden.

Zur Anwendung des Modells auf den gesamten europäischen Wohngebäudesektor sind eine einheitliche Datenbasis sowie eine gründliche Untersuchung der nationalen Bestände zur Kennzeichnung der Ausgangssituation erforderlich. Diese Analyse beinhaltet die Abbildung der Energieverbräuche und -strukturen, die Beachtung der klimatischen Prämissen, die Beschreibung der Bauteilflächen und Heizungsanlagen sowie die Berücksichtigung der verschiedenen Baukulturen.

Die Einzelgebäudeberechnung wird für alle nationalen Bestände vorgenommen und entsprechend dem Bottom-Up Ansatz hochgerechnet. Die Häufigkeitsverteilung der Sanierungen ist abhängig von den Einflussfaktoren des Alterungsprozesses, so dass die resultierende Lebensdauer der Bauteile an nationale Gegebenheiten anzupassen ist.

Zur Berechnung der Energieeinsparpotenziale und zur Entwicklung der CO₂-Szenarien werden neben den nationalen Rahmenbedingungen einerseits die europäischen Richtlinien zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und zur Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen sowie andererseits die nationalen Klimaschutzpolitiken berücksichtigt (vgl. Abbildung 3-1).

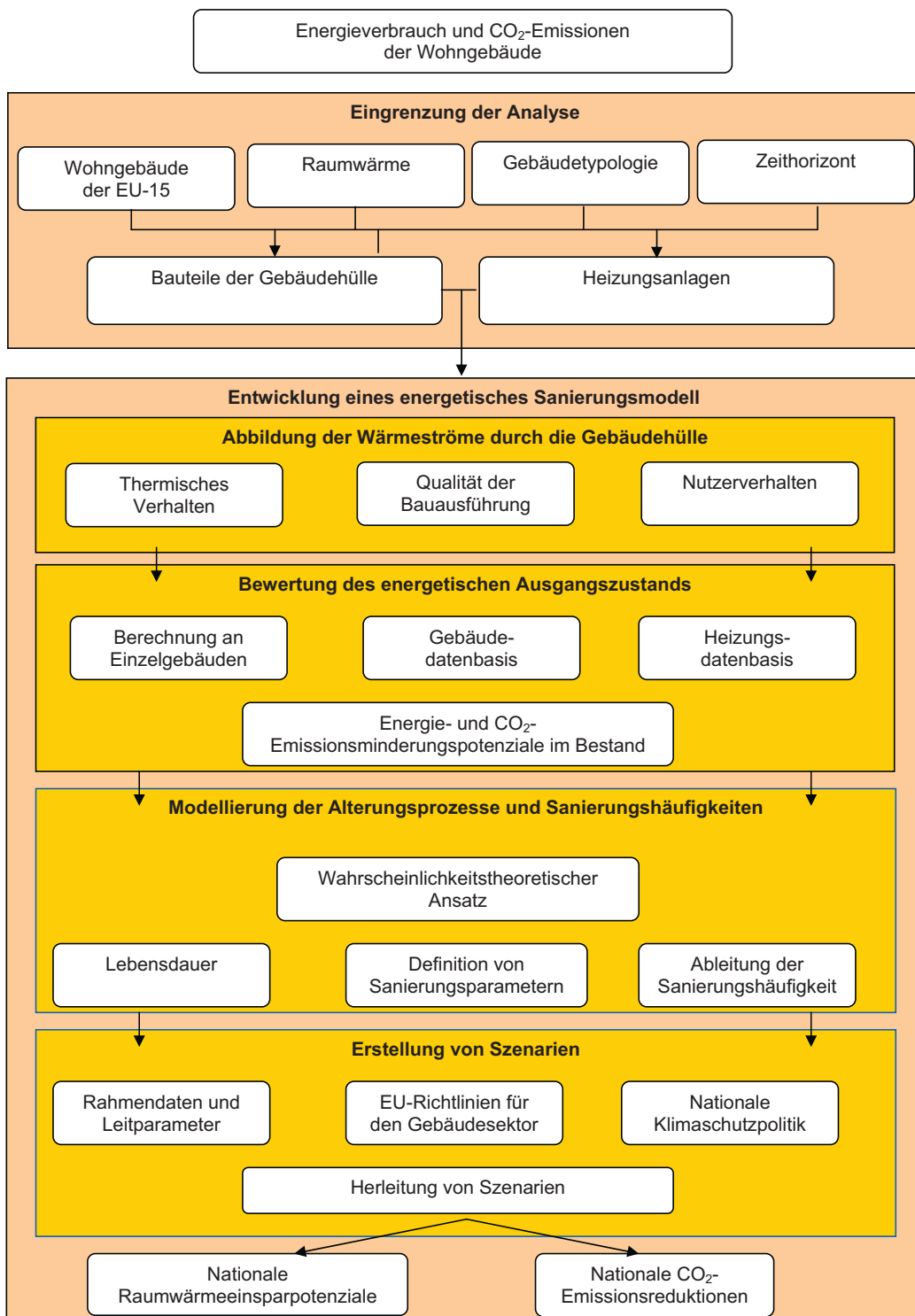


Abbildung 3-1: Methodische Entwicklung des energetischen Sanierungsmodells

3.6 Eingrenzung der Analyse

Örtliche Eingrenzung

Das zu entwickelnde Sanierungsmodell ist nach einem Kastenmodell aufgebaut und kann grundsätzlich auf den gesamten europäischen Wohngebäudebestand übertragen werden. In der vorliegenden Arbeit wird aufgrund von fehlenden Daten eine Beschränkung des Modells auf die europäischen Staaten der ehemaligen EU-15 vorgenommen. Nach dem Prinzip eines Kastenmodells kann unter Berücksichtigung der zur Zeit fehlenden Daten eine Erweiterung des Modells auf die EU- 27 durchgeführt werden.

Eingrenzung der Gebäudetypologie

Aufgrund der unzureichenden Dokumentation der nationalen Wohnbestände werden für die Entwicklung der Gebäude- Datenbasis Typgebäude definiert. Diese Typgebäude umfassen zwei Arten von Gebäudearten, die durch die Gruppe der Ein- und Zweifamilienhäuser sowie die Gruppe der Mehrfamilienhäuser gekennzeichnet werden. Eine weitere Differenzierung dieser Gruppen von Typgebäuden wird nach Altersklassen vorgenommen.

Energetische Begrenzung

Der Untersuchungsgegenstand des Modells wird in der Arbeit auf den Energiebedarf für Raumwärme, der in der EU-15 derzeit für rund 60 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Gebäuden verantwortlich ist [Enerdata, 2006], beschränkt.

Zeitliche Beschränkung

In der Arbeit wird das Sanierungsmodell auf den Zeitraum von 1990 bis 2030 angewandt. Dabei wird die Zeitreihe von 1990 bis 2005 zur Abbildung und Bewertung der bereits realisierten Sanierungen und das Jahr 2006 als Startjahr für die Herleitung der Szenarien bis 2030 verwendet.

3.7 Aufbau der Gebäudedatenbasis

Der Aufbau der Gebäude-Datenbasis erfolgt auf der Basis eines gebäudetypologischen Ansatzes auf der Grundlage von verfügbaren Angaben, die zur Kennzeichnung der Wohngebäudebestände aufbereitet werden. Die Bestandteile der Datenbasis sind in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt.

3.7.1 Wohngebäude nach Größen- und Baualtersklassen

Größenklassen

Der Wärmebedarf eines noch nicht sanierten Wohngebäudes hängt von seinem Bauzustand und von seiner Größe ab. Der Bauzustand wird im Wesentlichen durch das Alter des Wohngebäudes bestimmt. Die beiden Bestimmungsfaktoren der Einteilung der Wohngebäude stellen daher die Gebäudegröße und das Baualter dar. Für die Gebäudeanalysen in dieser Arbeit wird auf der Basis der vorhandenen Daten die in der Tabelle 3-2 dargestellte Typologie umgesetzt.

Gebäudeart	Kurzbezeichnung	Anzahl der Wohneinheiten
Ein- und Zweifamiliengebäude	EZFH	1 bis 2
Mehrfamiliengebäude	MFH	3 und mehr

Tabelle 3-2: Gebäudetypologie nach Größenklassen

Baualtersklassen

Eine weitere Differenzierung der Größenklassen erfolgt durch die Überlagerung mit Baualtersklassen. Zur Entwicklung einer einheitlichen Datenbasis werden für alle Mitgliedsstaaten in Anlehnung an die [Housing Statistics, 2005] die in der Tabelle 3-3 aufgelisteten Baualtersklassen zugrunde gelegt. Die Einteilung der Gebäudegrößen führt zu 9 Baualtersklassen.

3.7.1 Wohngebäude nach Größen- und Baualtersklassen

Baualtersklasse	Kurzbezeichnung	Anmerkung
vor 1919	A	vor dem 1. Weltkrieg
1919 bis 1944	B	zwischen dem 1. und 2. Weltkrieg
1945 bis 1960	C	Nachkriegsjahre mit Materialmangel
1961 bis 1980	D	Ölkrise
1981 bis 1990	E	1. Wärmestandards
1991 bis 2001	F	Kyoto - Abkommen
2002 bis 2010	G	Europäische Richtlinien, Szenarien
2011 bis 2020	H	ab 2006 Szenarien
2021 bis 2030	I	ab 2006 Szenarien

Tabelle 3-3: Gebäudetypologie nach Baualtersklassen

Als Anfangswert für die älteste Baualtersklasse je Typgebäude wurde das Jahr 1875 definiert, denn der Wohnflächenbestand, der aus der Zeit vor dem Ausgangsjahr 1875 stammt, ist vernachlässigbar klein. Damit jedoch eine genaue Modellabbildung durchgeführt werden kann, wird dieser geringfügige Bestand zu der ältesten Baualtersklasse addiert.

Referenztypologie für den europäischen Wohngebäudebestand

Für die Berechnungen der Energieeinsparungen durch energetische Sanierungen an den Bauteilen der Gebäudehülle und der Heizungsanlage und zur Erstellung einer einheitlichen Datenbasis wurde ausgehend von den nationalen Gebäudetypologien eine Referenztypologie für den europäischen Wohngebäudebestand bestimmt, deren Abweichungen in Anlehnung an die [Housing Statistics, 2005] minimiert wurden.

Neben der Einteilung des gesamten Wohngebäudebestands in Typgebäude und Baualtersklassen wurden aus den Baufertigstellungen die Daten zu den Bauteilflächen ermittelt und getrennt nach den einzelnen Gebäudetypen zugeordnet. Diese Bauteildaten wurden mit den Daten der nationalen statistischen Ämter, Instituten zur Energieforschung im Gebäude und den europäischen Verbänden der Bauteilhersteller sowie Marktforschungsinstituten verglichen, um Fehlerabweichungen zu reduzieren.

Die Heizungsstruktur wird für die verschiedenen Typgebäude nach der Art des Energieträgers, dem Alter und der Art der eingesetzten Heizkessel erfasst.

In der nachfolgenden Abbildung 3-2 erfolgt eine schematische Zusammenfassung der gewählten Referenz-Gebäudetypologie, die mit den Baufertigstellungen der Wohngebäude beginnen und mit den Flächenwerten der Bauteile und den Heizkesselwirkungsgraden enden. Nach der Gebäudetypologie können aus dem gesamten Wohngebäudebestand durch die Attribute aus der Abbildung 3-2 Teilbestände für die Referenztypologie hergeleitet.

3.7.1 Wohngebäude nach Größen- und Baualtersklassen

Bei der Bestandsmodellierung wird sowohl der gesamte Wohngebäudebestand als auch der einzelne Wohngebäudetyp selbst betrachtet. Denn auf der Ebene der Wohngebäudetypen können für die Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage detaillierte Aussagen getroffen werden, die je nach Teilbestand aufsummiert werden können.

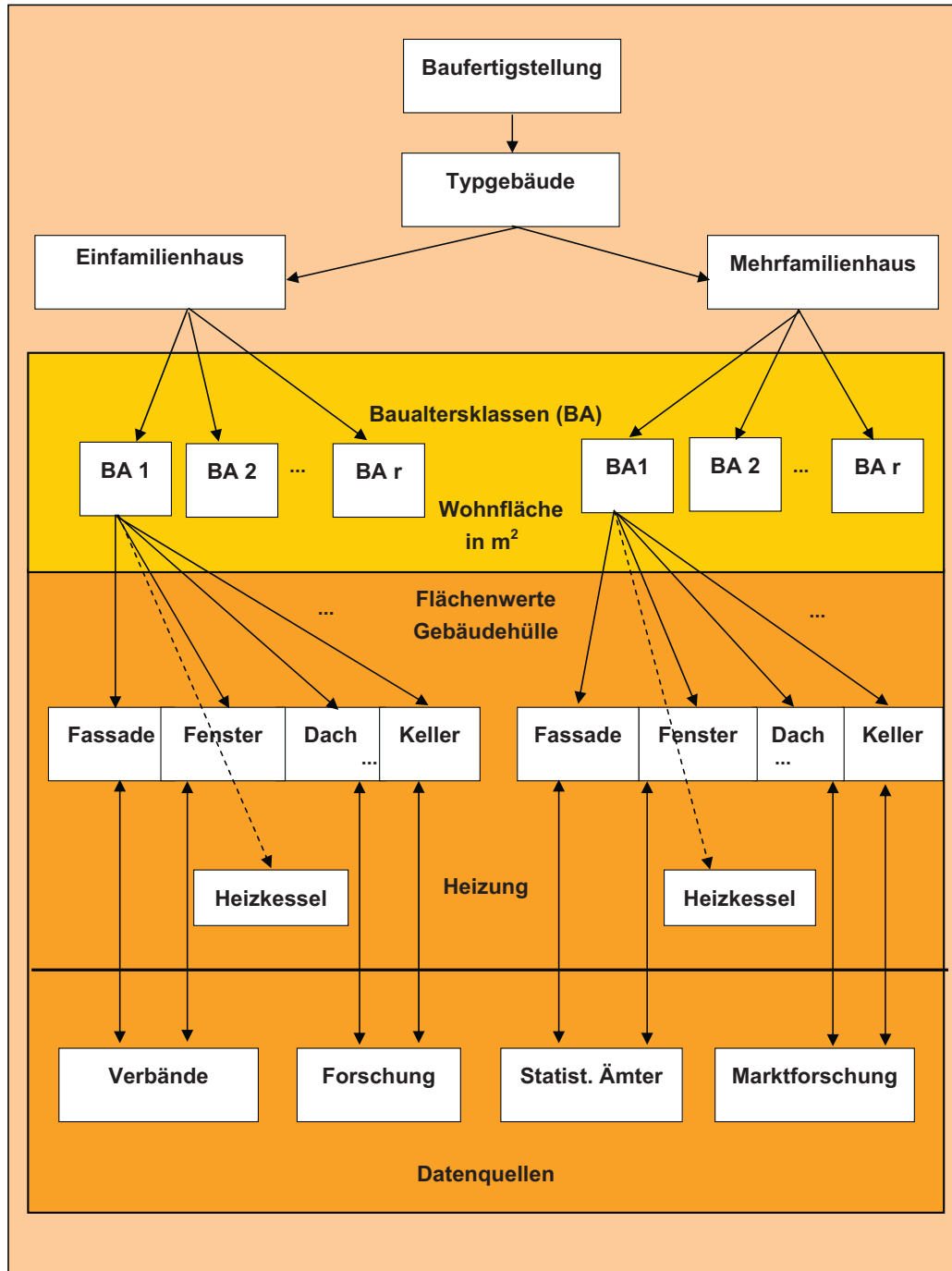


Abbildung 3-2: Schema der Referenztypologie und der zugehörigen Elemente

3.7.2 Wohngebäude im unsanierten Zustand

Klimazonen

Die verschiedenen klimatischen Bedingungen der einzelnen Mitgliedsstaaten der EU-15 werden durch die Heizgradtage nach [Eurostat, 2005] berücksichtigt. Dabei erfolgt die Bestimmung der nationalen Heizgradtage nach den europäischen Regionen (NUTS-2¹). Die temperaturbereinigten Heizgradtage der einzelnen Regionen eines Mitgliedsstaates werden nach der Bevölkerungsverteilung gewichtet und summiert. In der Tabelle 3-4 sind die Heizgradtage für die Darstellung des Referenzzeitraums von 1980 bis 2004 dargestellt. Die Heizgradtage sind das Produkt aus der Anzahl der Heiztage multipliziert mit der Differenz zwischen der mittleren Raumtemperatur und der mittleren Außentemperatur.

Mitgliedsstaat	Heizgradtage der Referenz [Kd/a]	Klimaregion
Portugal	1200	Warme Klimazone
Spanien	1609	
Griechenland	1516	
Italien	1902	
Frankreich	2470	Gemäßigte Klimazone
Belgien	2718	
Irland	2772	
Niederlande	2802	
Großbritannien	2884	
Deutschland	3137	
Luxemburg	3166	
Österreich	3416	
Dänemark	3457	Kalte Klimazone
Schweden	4261	
Finnland	5061	

Tabelle 3-4: Heizgradtage und Einteilung der Länder in Klimaregionen [Eurostat, 2005]

Wärmetechnische Kenndaten

Zur Charakterisierung der wärmetechnischen Situation im Urzustand der Wohngebäude in der EU-15 werden die Daten von [Petersdorff et al., 2005, S. 32] verwendet. Dieser Zustand ist dadurch gekennzeichnet, dass die Wohngebäude noch keiner wesentlichen energetischen Sanierung seit der Erstellung unterzogen worden sind. Entsprechend den Klimazonen aus der Tabelle 3-4 werden Wärmedurchgangskoeffizienten für die Urzustände

¹ NUTS (fr. Nomenclature des unités territoriales statistiques - „Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik“) bezeichnet eine hierarchische Systematik zur eindeutigen Identifizierung und Klassifizierung der räumlichen Bezugseinheiten der Amtlichen Statistik in den Mitgliedsländern der Europäischen Union.

3.7.2 Wohngebäude im unsanierten Zustand

der Bauteile der Gebäudehülle in Anlehnung an [Petersdorff et al., 2004, S.32] definiert (vgl. Tabelle 3-5). Diesen Daten stehen die nationalen Anforderungen von Neubauten für die Berechnungen auf der Basis des Jahres 2001 gegenüber.

Mitgliedsstaat	Urzustand in W/(m ² K)				Sanierung in W/(m ² K)			
	Dach	Fassade	Keller	Fenster	Dach	Fassade	Keller	Fenster
Portugal*1	3,40	2,60	3,40	4,20	0,90	1,20	0,90	3,50
Spanien*2	3,40	2,60	3,40	4,20	0,50	0,90	0,65	3,50
Griechenland	3,40	2,60	3,40	4,20	0,60	0,60	0,60	2,00
Italien	3,40	2,60	3,40	4,20	0,35	0,45	0,45	2,50
Frankreich	1,50	1,50	1,20	3,50	0,25	0,45	0,35	2,00
Belgien	1,50	1,50	1,20	3,50	0,40	0,60	0,40	2,50
Irland	1,50	1,50	1,20	3,50	0,16	0,27	0,25	2,00
Niederlande	1,50	1,50	1,20	3,50	0,25	0,30	0,25	1,80
Großbritannien	1,50	1,50	1,20	3,50	0,20	0,35	0,25	1,80
Deutschland	1,50	1,50	1,20	3,50	0,30	0,45	0,40	1,70
Luxemburg	1,50	1,50	1,20	3,50	0,40	0,60	0,60	2,00
Österreich	1,50	1,50	1,20	3,50	0,25	0,35	0,40	1,80
Dänemark	0,50	0,50	0,50	3,00	0,15	0,20	0,20	1,80
Schweden	0,50	0,50	0,50	3,00	0,15	0,15	0,15	1,50
Finnland	0,50	0,50	0,50	3,00	0,16	0,25	0,25	1,40

*1Anforderungen bei Neubauten als gewichtetes Mittel der Klimazonen in Portugal

*2Anforderungen bei Neubauten als gewichtetes Mittel der Klimazonen in Spanien

Tabelle 3-5: Wärmetechnische Kenndaten im definierten Urzustand und nach der Sanierung auf Neubauniveau

Wohnflächentabellen

Den Ausgangspunkt zur Beschreibung der nationalen Bestände stellen die Gebäude- bzw. Wohnungszählungen aus dem Jahr 2000 bzw. 2001 dar, die auf Veranlassung der europäischen Union in allen Mitgliedsstaaten durchgeführt wurden [National Statistics, 2001]. Aus diesen statistischen Erhebungen können Informationen zu den Gebäudetypen und den zugehörigen Wohnflächen abgeleitet werden. Als Ergänzung dienen die statistischen Angaben der [Housing Statistics, 2003, Housing Statistics, 2004, Housing Statistics, 2005, IFO, 2005, IFO, 2006, EEA, 2002], die Angaben der europäischen Energieagentur [EEA, 2002, EEA, 2005a, EEA, 2005b], die Ausführungen von [Empirica, 2005, Fiec, 2001 - 2005] sowie die Odyssee-Datenbank von [Enerdata, 2002, Enerdata, 2006].

Bauteilflächen

Die Zahlenwerte für die Charakterisierung der verschiedenen Bauteilflächen unter der Berücksichtigung der architektonischen Besonderheiten werden für die Fassaden und Fenster sowie die Bauteile Dach und Keller den Untersuchungen von [VFF, 2000, GEPVP, 2000, IC, 2004, IC, 2002, IC, 2003b, IC, 2003a, FVHF, 2002, GEPVP, 2005, VFF, 1999, VFF, 2002, VFF, 2003] entnommen. Die Bauteilflächen des deutschen Bestands werden zudem auf der Basis von [Kreimeyer, 2004] und den Flächenschätzverfahren von [Loga, 2005] analysiert.

Energetische Datengrundlage

Als Grundlage zur Untersuchung der Energieverbräuche in der Zeitreihe von 1990 bis 2001 für Raumwärme wird die Odyssee-Datenbank von [Enerdata, 2002, Enerdata, 2006] eingesetzt. Unter dem Einsatz der Normen [EN 832, 2003, EN 13790, 2003] werden die nationalen Bestände energetisch bilanziert.

Die Norm [EN 832, 2003] beinhaltet ein vereinfachtes Berechnungsverfahren für die Wärmebedarfsermittlung sowie die Berechnung des Wärmeverlustes des Wohngebäudes. Durch die Festlegung der Systemgrenze entsteht ein beheizter Bereich, der sich vom unmittelbar angrenzenden Umfeld abgrenzt. Dabei kann dieses Umfeld sowohl beheizt oder unbeheizt sein.

Eine solche Zone, die in der [EN 832, 2003] als Wärmezone kennzeichnet, muss eine konstante Raum-Innentemperatur aufweisen.

Der Heizenergiebedarf, der einem Wohngebäude nach dem Ein-Zonen-Modell über die Heizung zugeführt werden muss, um es auf eine bestimmte mittlere Raum-Innentemperatur zu beheizen, wird von den energetischen Einflussgrößen

- Transmissionswärmeverluste nach außen und in angrenzende Zonen,
- Lüftungswärmeverluste nach außen und in angrenzende Zonen,
- Solarenergiegewinne und
- Interne Gewinne beeinflusst.

Zum Vergleich der Datenbestände wird eine Temperaturbereinigung nach [Eurostat, 2005] vorgenommen.

Durch die Definition einer Energiebezugsfläche können spezifische Flächenverbrauchswerte für die beheizte Wohnfläche und die zugehörigen Bauteilflächen bestimmt werden.

Daten zum Modernisierungsmarkt

Zur Bewertung des energetischen Ausgangszustands 2001 wurden vor allem folgende Literaturstellen zur Charakterisierung der nationalen Modernisierungsmärkte berücksichtigt: [vgl. Austria, 2001, S. 60ff.], [UBA, 1999, S. 2ff.], [EVA, 2000, S. 10ff.], [BRE, 2003b, S. 39ff., S. 57ff., S. 87ff., BRE, 2006, S. 24ff.], [Petersdorff et al., 2004, S. 32], [David et al., 2001], [Dimoudi, 2005], [Tommerup & Svendsen, 2006], [Dyrbøl et al., 2005], [Ecofys, 2002], [vgl. Eichhammer, 2003, S. 42ff.], [Wittchen, 2003], [Watson & Williams, 2003, S. 10ff.], [Verbeeck & Hens, 2005], [Sunikka, 2005, S. 5ff.].

3.8 Heizungsdatenbasis

Aufbauend auf der Gebäude-Datenbasis umfasst die Typologie für die Heizkessel konkrete Angaben zu den verwendeten Energieträgern [Enerdata, 2002, Enerdata, 2006], dem Alter sowie dem Nutzungsgrad der Heizkessel. Ausgehend von den Angaben nach [RAS, 2005, EC, 2002a, Kleemann & Hansen, 2005, Kolkman, 1999, BRE, 2002, RAS, 2003] wird entsprechend den Gebäudedaten, unterstützt durch die nationalen Statistiken, eine Heizungsdatenbasis für den Zeitraum von 1990 bis 2005 für die Typgebäude und die zugehörigen Baualtersklassen aufgestellt.

Die Erstellung der Heizungsdatenbasis für die Mitgliedsstaaten der EU-15 erfolgt ausgehend von den Resultaten der Studie [EC, 2002]. In dieser Studie wurde ein lineares Bestandsmodell für die europäischen Heizungssysteme auf der Basis von Bestandsdaten und Absatzzahlen der Heizungsindustrie entwickelt. Neben den Daten der Marktforschungsagentur Consult GB (CGB) wurden die Daten des britischen Bestands aus dem Heizungsmodell von Building Research Establishment (BRE) entnommen. Die Märkte und Bestände in den anderen Staaten wurden weiteren nationalen Modellen und Erhebungen von Agenturen und Forschungsinstituten entnommen.

Das lineare Bestandsmodell basiert auf den Inputdaten für den Gesamtbestand sowie den Verkaufsdaten und dient der Modellierung des Bestands. Die Inputdaten werden differenziert nach den Typen der Heizkessel und Brennstoffen erfasst. Die Daten für die mittleren Nutzungsgrade (bezogen auf Endenergie) sind in der Tabelle 3-6 nach Brennstoffen in diesem Bestandsmodell aufgeführt.

3.9 Rahmendaten

Mitgliedsstaat	Gas %	Öl %	Kohle, Torf %	Fernwärme %	Strom %	Mittel %
Österreich	93,1	86,2	72,6	100,0	55,0	85,9
Belgien	91,8	86,3	71,9		55,0	86,7
Dänemark	93,8	85,9	73,9	100,0	55,0	99,9
Finnland	94,6	87,1	73,4	100,0	55,0	95,3
Frankreich	93,9	86,5	72,0	100,0	55,0	84,5
Deutschland	93,9	87,0	74,2	100,0	55,0	92,0
Griechenland	95,3	85,3	71,6		55,0	79,9
Irland	93,9	86,7	72,0	100,0	55,0	91,5
Italien	93,6	86,0	72,2	100,0	55,0	83,8
Luxemburg	92,5	85,3			55,0	87,6
Niederlande	92,3	83,0	73,9	100,0	55,0	92,6
Portugal					0,0	84,4
Spanien	92,0	86,7	71,8		55,0	78,8
Schweden	95,1	78,6	71,4	100,0	55,0	94,5
Großbritannien	90,0	87,1	72,0	100,0	55,0	92,3
EU - 15	91,6	86,3	71,5	100,0	55,0	87,8

Tabelle 3-6: Nutzungsgradabschätzungen der Heizsysteme für 2005 nach dem linearen Bestandsmodell von [EC, 2002]

Aufbauend auf diesen Abschätzungen wurde die Zusammensetzung der Energieerzeugerstruktur und der Nutzungsgrade der eingesetzten Heizkessel durch Studien und Angaben (u.a. von [EU, 1999; EC, 2003; National Statistics, 2001; EC, 2002]) sowie durch Aussagen der Heizungshersteller, der Schornsteinfegerverbände sowie Marktforschungseinrichtungen (u.a. [GfK, 2003, IC, 2002, IC, 2003b, IC, 2004, IC, 2003a, ZIV, 2002, Wolff & Jagnow, 2005]) ergänzt.

3.9 Rahmendaten

Die Rahmendaten begrenzen als externe Faktoren das zu entwickelnde Sanierungsmodell und sind in den nachfolgenden Abschnitten zusammengefasst dargestellt.

Europäische Richtlinien

Für die Erstellung des Sanierungsmodells stellen die europäischen Richtlinien zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden sowie über die Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und die vorgeschlagene Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus Erneuerbaren Energiequellen entscheidende Rahmenparameter dar [EC, 2002b, EC, 2006]. Diese Rahmendaten definieren die weitere Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz bei zu sanierenden Altbauten und berücksichtigen

Neubauten von Wohngebäuden. Neben der nationalen Umsetzung dieser Richtlinien werden die nationalen Klimaschutzaktivitäten zur Minderung der CO₂-Emissionen im Wohngebäudebestand erörtert.

Wohnflächennachfrage

Die Ableitung der nationalen Wohnflächennachfrage bis 2030 wird anhand der Anzahl der Haushalte und der Haushaltsgrößen vorgenommen. Im Mittelpunkt der Analyse steht vor diesem Hintergrund die Abbildung des zukünftigen Wohnflächenbedarfs, der sowohl ökonomische Aspekte durch die wirtschaftliche Entwicklung [EC, 2003] als auch demographische Prozesse durch die Entwicklung der Wohnbevölkerung berücksichtigt.

Energieträgerstruktur

Bei der Untersuchung der Energieeffizienz von bereits realisierten Sanierungen wird die Struktur der Energieträger entsprechend [Enerdata, 2002, Enerdata, 2006] dem Modell vorgegeben. Zur Erstellung der Szenarien werden die Annahmen nach [EC, 2003] verwendet.

3.10 Szenarien und Zeithorizont

3.10.1 Zeithorizont

Für die Durchführung von ex ante Untersuchungen kann grundsätzlich der Zeithorizont der Szenarien im Modell beliebig festgelegt werden. Um differenzierte Aussagen zum methodischen Einsatz des dynamischen Sanierungsmodells im europäischen Wohngebäudesektor zu bekommen, wird das Ende der Szenarien in dieser Arbeit mit dem Jahr 2030 definiert.

Die Szenariorechnungen werden demnach mit dem Zeithorizont 2030 durchgeführt. Bis 2005 liegen die realen Verbrauchs- und Emissionsdaten vor. In deren Entwicklung sind u.a. die Effekte der in diesem Zeitraum wirksamen Minderungsmaßnahmen enthalten. Die Szenarioanalysen schließen sich zeitlich unmittelbar an die Vergangenheitsentwicklung an, d.h. als Startzeitpunkt für die Rechnungen wird das Jahr 2006 zugrunde gelegt.

3.10.2 Szenarien

Grundsätze

Die Szenarien sind definiert als hypothetische Folgen von Ereignissen, die konstruiert werden, um die Aufmerksamkeit auf kausale Prozesse und Entscheidungspunkte zu lenken. Nach [Kahn et al., 1968, S. 15, Fink et al., 2001, S. 59ff.] ist ein Szenario eine Beschreibung einer möglichen zukünftigen Situation, die dem Zusammenwirken eines Systems an

Einflussfaktoren beruht. Extreme positive und negative Entwicklungen für die Szenarien beschreiben dabei den Rahmen des Zukunftsraums.

In Anlehnung an die Beschreibungen nach [vgl. von Reibnitz, 1991, S. 190ff., Geschka & Hammer, 1986, S. 241ff.] versteht man unter der Szenariotechnik ein formalisiertes Instrument zur systematischen Entwicklung zukünftiger Umfeldsituationen und die Beschreibung des Weges von heute bis zu der zukünftigen Situation. Die Szenariotechnik ist keine Wahrscheinlichkeitsbewertung sondern eine Methode, um mögliche Alternativen für die zukünftige Entwicklung herzuleiten.

Definition der Szenarien

Ausgehend vom Startjahr 2005 werden in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen und Einflussparameter Szenarien für die möglichen Energie- und CO₂-Emissionsreduktionen bis 2030 entwickelt. Für die Berechnung der erzielbaren Einsparpotenziale in den Szenarien wird eine fiktive Referenzentwicklung hergeleitet, die lediglich Bestandsveränderungen durch Abriss und Neubau berücksichtigt. Die Differenz zwischen dieser Referenzentwicklung und den Szenarien entspricht den Einsparungen.

Um den Spielraum für unterschiedliche Klimaschutzmaßnahmen im europäischen Wohngebäudebestand für zukünftige Entwicklungen darstellen zu können, werden für die Untersuchungen neben dem Referenzszenario weitere Szenarien definiert:

- Szenario „EU – Gebäude- und Effizienzrichtlinie“ und
- Szenario „Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren“.

4. Die energetische Auswertung der Wohngebäudebestände der EU in der Vergangenheit

Für die energetische Bewertung der Wohngebäude werden die einzelnen Wärmeströme über die Systemgrenze des Wohngebäudes analysiert und anschließend ein- und ausfließenden Energieströme bilanziert. Das Ziel der Energiebilanz ist einerseits die Bestimmung des zugeführten Anteils an nicht regenerativer Energie, für dessen Bereitstellung ein endlicher Energieträger eingesetzt wird, und andererseits das Bestimmen des Einsparvolumens, dass auf der Grundlage durchgeführter energetischer Sanierungen zur Reduktion des Raumwärmebedarfs im europäischen Wohngebäudesektor beiträgt.

4.1 Ansätze zur Energiebilanzierung

In der Energiebilanz werden die Begriffe Energie und Wärme parallel verwendet, obwohl eigentlich unter der Wärme nur die thermischen Energien zu verstehen sind. Die Definition des Begriffs Wärme wird häufig für die Abgrenzung des energetischen Nutzens im Vergleich zum gesamten Aufwand, der als Energie zu bezeichnen ist, verwendet. Mit der Energiebilanz eines Wohngebäudes werden für einen definierten Zeitraum, hier ein Jahr, Wärmeströme mengenmäßig erfasst.

Heizgrenztemperatur

Unter einer Heizgrenztemperatur T_{HG} wird diejenige Temperatur verstanden, ab der eine Beheizung eines Wohngebäudes zum Erreichen der Raum-Innentemperatur nicht mehr notwendig ist. Der Anteil der Wärmegewinne reicht in diesem Zustand aus, um die Wärmeverluste zu kompensieren. Die Heizgrenze T_{HG} wird in dieser Arbeit mit der mittleren Tagesaußentemperatur von $T_A = 15^\circ\text{C}$ für alle Wohngebäude unterstellt. Zur Erfassung der Wärmeperiode wird neben der Heizgrenztemperatur die Heizzeit definiert. Diese Heizzeit stellt die Summe der Heiztage dar, die zur Versorgung des Wohngebäudes durch die Raumwärme der Heizungsanlage notwendig sind.

Die Heizgrenztemperatur bestimmt die mittlere Tagesaußentemperatur, denn sie wird in der Heizzeit aus der durchschnittlichen Tagestemperatur ermittelt. Diese Außentemperaturen hängen von der örtlichen Lage ab und werden für das Untersuchungsgebiet den Daten von [Eurostat, 2006] entnommen.

Die Raum-Innentemperatur wird nach den Angaben der [EN 832, 2003] für das Wohngebäude als Einzonenmodell berechnet. Dabei wird grundsätzlich ein Sollwert von 21°C für die Temperatur in den beheizten Räumen definiert. In der Praxis werden die Räume häufig verschiedene Raum-Innentemperaturen aufweisen und gemäß dem Zonenmodell in

mittleren Temperaturen zusammengefasst. Die Bestimmung der Differenz zwischen Heizgrenztemperatur und Tagesaußentemperatur über der Heizzeit führt zur Herleitung der Heizgradtage HGt [Jagnow, 2004, S. 39f.].

$$HGt_x(t) = \int_{HP} (T_{HG} - T_{A_x}) dt = (T_{HG} - T_{A,m_x}) \cdot t_{HP}$$

$HGt_x(t)$ = Heizgradtage des Landes x im Jahr t [Kd/a],

T_{HG} = Heizgrenztemperatur [K],

T_{A_x} = Tagesaußentemperatur im Land x über der Heizperiode [K],

T_{A,m_x} = Mittlere Tagesaußentemperatur im Land x über der Heizperiode [K],

t_{HP} = Heizzeit [d]

Gleichung 4-1: Bestimmung der Heizgradtage

In der vorliegenden Arbeit werden die Heizgradtage nach [Eurostat, 2005, S. 3ff.] auf der Basis der Gleichung 4-1 für die einzelnen Region des jeweiligen Landes der EU-15 ermittelt. Die Summierung der Heizgradtage der Regionen eines Landes erfolgt nach der Gewichtung dieser Werte mit dem Verhältnis der Bevölkerungszahl der betreffenden Region und der gesamten Bevölkerung des Landes (vgl. Gleichung 4-2).

$$HGt_{g,x}(t) = \sum_{h=1}^r \left[\int_{HP} (T_{HG} - T_{A_x}) dt \cdot g_{h,x} \right]_h = \sum_{h=1}^r \left[(T_{HG} - T_{A,m_x}) \cdot t_{HP} \cdot g_{h,x} \right]_h$$

$HGt_{g,x}(t)$ = Gewichtete Heizgradtage des Landes x im Jahr t [Kd/a],

$g_{h,x}$ = Gewichtung nach Bevölkerungsanteil der Region h des Landes x [-].

Gleichung 4-2: Berechnung der mit dem Bevölkerungsanteil der Regionen gewichteten Heizgradtage

In Kapitel 3.7.2 sind die gewichteten Heizgradtage zur Festlegung des Referenzniveaus des Zeitraums 1980 bis 2004 in Tabelle 3-3 für die einzelnen Mitgliedsstaaten der EU-15 dargestellt.

Energiebezugsfläche

Zur Bildung von flächenbezogenen Energiekennwerten wird die Energiebezugsfläche herangezogen (vgl. Tabelle 4-1). Die Bezugsfläche lässt sich aus der Summe aller Wohnflächen bestimmen, die nach [Loga & Imkeller - Benjes, 1997, S. 41] für die Nutzung einer Beheizung nach der [DIN 277, 2005] notwendig ist. Dieser Ansatz wird auf alle EU-15-Länder übertragen.

Für das Jahr 2001 wird die Energiebezugsfläche ausgehend von nationalen statistischen Erhebungen, die fast ausschließlich in den Jahren 2000 und 2001 durchgeführt worden sind, und den Angaben von [Housing Statistics, 2002, S. 25ff.] ermittelt. Die maximal beheizbare Wohnfläche in 2001, die in der Tabelle 4-1 für die einzelnen Mitgliedsstaaten in Mio. m² dargestellt ist, beträgt in der EU-15 insgesamt 15,4 Mrd. m². Fast zwei Drittel dieser Wohnfläche entfallen auf Wohngebäude mit einer oder zwei Wohneinheiten. Innerhalb der verschiedenen Länder unterscheiden sich die Anteile für Ein- und Mehrfamilienhäuser. Den größten Anteil an der beheizbaren Wohnfläche besitzt Deutschland mit 3,22 Mrd. m² und 21%.

Für die spätere Berechnung im Sanierungsmodell wird diese Typologie der einzelnen Gebäudetypen um die Einführung von Altersklassen erweitert. Hierdurch ist es möglich, die beheizbare Wohnfläche für die Ein- und Mehrfamiliengebäude in jeweils 6 weitere Klassen zu untergliedern. Es wird dabei die Annahme getroffen, dass die älteste Baualtersklasse mit 1875 beginnt, denn der Bestand der Wohngebäude, die älter als dieses Baujahr sind, ist als gering einzuordnen.

4.1 Ansätze zur Energiebilanzierung

Mitgliedsstaat	Gebäudetyp	vor 1919	1919 - 1944	1945 - 1960	1961 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2001	Summe 2001
		in Mio. m ²						
Belgien	EFH	45	46	54	65	39	52	301
	MFH	10	15	14	17	12	15	82
	Gesamt	55	60	68	82	51	67	383
Dänemark	EFH	39	25	23	68	24	13	191
	MFH	15	20	11	18	5	4	74
	Gesamt	54	45	34	86	29	17	265
Deutschland	EFH	367	212	481	380	181	238	1.858
	MFH	192	135	412	291	146	192	1.367
	Gesamt	559	347	892	670	327	430	3.225
Finnland	EFH	3	12	27	40	28	22	132
	MFH	1	5	7	33	9	9	64
	Gesamt	4	17	34	74	37	31	196
Frankreich	EFH	451	200	235	408	207	229	1.730
	MFH	108	88	191	238	73	112	811
	Gesamt	559	288	426	646	280	341	2.540
Griechenland	EFH	5	22	33	62	29	21	171
	MFH	2	14	25	148	62	51	303
	Gesamt	7	35	59	210	91	73	473
Großbritannien	EFH	390	317	343	489	155	143	1.837
	MFH	57	64	55	78	28	26	308
	Gesamt	447	381	398	567	183	169	2.145
Irland	EFH	15	11	14	30	16	23	107
	MFH	1	1	1	1	1	3	7
	Gesamt	16	11	14	31	16	26	114
Italien	EFH	322	134	206	505	101	53	1.320
	MFH	106	83	184	490	126	87	1.075
	Gesamt	428	216	390	994	227	140	2.395
Luxemburg	EFH	2	2	2	4	2	3	14
	MFH	0	1	1	1	0	1	4
	Gesamt	2	3	3	5	2	4	19
Niederlande	EFH	43	64	69	173	77	74	499
	MFH	8	22	28	48	23	24	152
	Gesamt	51	86	96	221	100	98	652
Österreich	EFH	37	15	25	66	27	31	200
	MFH	28	14	16	42	15	23	137
	Gesamt	65	29	41	108	42	53	338
Portugal	EFH	20	26	54	89	58	68	314
	MFH	5	10	16	27	20	24	102
	Gesamt	25	35	71	117	77	92	416
Spanien	EFH	139	51	155	291	151	143	929
	MFH	46	32	108	459	121	156	922
	Gesamt	185	82	263	750	273	299	1.851
Schweden	EFH	39	25	38	84	24	11	220
	MFH	9	19	48	64	15	13	167
	Gesamt	49	45	85	147	38	24	387
EU - 15	EFH	1.915	1.159	1.758	2.753	1.116	1.122	9.824
	MFH	588	521	1.115	1.954	657	741	5.575
	Gesamt	2.503	1.680	2.874	4.707	1.773	1.863	15.399

Tabelle 4-1: Maximal beheizbare Wohnfläche nach Baualtersklassen für die Wohngebäude in Mio. m² [Nationale statistische Ämter, 2001] und [Housing Statistics, 2002, S. 25ff.]

Energiekennwerte

Der Energiekennwert ist definiert als Energiemenge, die durch die beheizbare Wohnfläche dividiert wird. Die Bildung der flächenspezifischen Energiekennwerte erfolgt mit den temperaturbereinigten jährlichen Endenergieverbrauchswerten für die Raumwärme nach [Eurostat, 2006] und [Enerdata, 2002]. Die unbewohnte Wohnfläche [Housing Statistics, 2005, S. 49] wird durch die Subtraktion der maximal beheizbaren Wohnfläche aus der Tabelle 4-1 in den Rechnungen berücksichtigt.

Bilanzierung der CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen werden dabei nach dem Quellenprinzip bilanziert. Maßgebend für die Zuordnung zu einem Verbrauchersektor ist die emittierende Quelle. Das bedeutet für den Bereich der Wohngebäude, dass Emissionen, die direkt im Wohngebäude entstehen, dem Sektor Haushalte zugerechnet werden. Die Emissionen, die nicht direkt im Wohngebäude entstehen, die zum Beispiel aus Strom- oder Fernwärmeerzeugung entstehen, werden nicht diesem Sektor zugerechnet, sondern dem Sektor Energieerzeugung. Das führt bei der Zuordnung der Emissionen zu den Verbrauchersektoren dazu, dass ein Teil der Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz im Wohngebäudebereich zu Emissionsminderungen im Sektor Energieerzeugung und nicht im Sektor Haushalte beiträgt. Ein Beispiel stellen Dämmmaßnahmen an fernwärmeversorgten Wohngebäuden dar. Die Umrüstung von Stromdirektheizung auf Erdgas ruft sogar Mehremissionen im Sektor Haushalte hervor.

4.2 Auswertung der gebäude- und wärmetechnischen Grunddaten

Ausgehend von den verfügbaren Daten wird zur Ableitung der gebäude- und wärmetechnischen Zustände für die einzelnen Gebäudetypen und Altersklassen ein vereinfachtes Verfahren zur Auswertung entwickelt. Mit diesem Auswertungsverfahren können einerseits die Ausgangszustände gekennzeichnet und andererseits die Energieeinsparpotenziale abgeleitet werden. Die Daten zur Beschreibung der Ausgangszustände dienen als Prämisse für die Anwendung des Sanierungsmodells.

4.2.1 Verfügbare Daten und Auswertung

Notwendigkeit des Auswertungsverfahrens

Die vorhandenen Daten sind aus der Sicht des Autors sehr inhomogen und zum Teil auch unzureichend, so dass die Realisierung eines länderübergreifenden Vergleichs nahezu unmöglich ist. In bisherigen wissenschaftlichen Studien wie beispielsweise von [Petersdorff et al., 2005, S. 32, Kleemann & Hansen, 2005, S. 78f.] wird darauf hingewiesen, dass zur exakten Beschreibung des wärmetechnischen Energieeinsparpotenzials neben einer

detaillierten Gebäudetypologie Untersuchungen zum Sanierungsverhalten im Altbaubereich notwendig wären. In [Engelund Thomsen et al., 2006, S. 12] wird im Rahmen eines europäischen Projekts zu den Energieeinsparpotenzialen im Bestand angemerkt, dass die vorhandenen Daten und Statistiken äußerst limitiert sind.

Vor diesem Hintergrund ist es nach Ansicht des Autors notwendig, die verfügbaren Daten aus wissenschaftlichen Publikationen sowie aus nationalen und europäischen Statistiken zur Beschreibung der energetischen Ausgangszustände in einem vereinfachten Verfahren auszuwerten und die daraus resultierenden Erkenntnisse in einer vereinheitlichten Datenbasis auszuweisen.

Verfügbare Daten für die Auswertung

Zur Charakterisierung der wärmetechnischen Zustände wird insbesondere die nachfolgende Literatur verwendet:

- a) Daten zur energetischen Situation der Wohngebäude aus der Forschung auf der europäischen Ebene:
 - Forschungsbericht von [Janssen, 2005, S. 50ff.] im Rahmen der European Alliance of Companies for Energy Efficiency in Buildings (EuroACE),
 - Ergebnisberichte für das Projekt Energy Performance Assessment of Existing Dwellings von [Balaras, 2003, S. 36ff.], insbesondere die Länderberichte aus Dänemark, Griechenland, den Niederlanden und Österreich [Balaras, 2004, S. 12ff.],
 - Teilbericht B4 zum Projekt Energy Performance of Buildings - Towards a European Building Code [Dicke et al., 2004, S. 76ff.],
 - wissenschaftliche Studien von [Petersdorff et al., 2004, S. 32, Petersdorff et al., 2005, S. 15ff. Petersdorff & Boermans, 2007, S. 52ff.] im Auftrag von Eurima (European Association of Insulation Manufactures),
 - Teilbericht 1 des Projekts Build-on-RES [Beerepoot et al., 2002, S. 10ff.] und
 - Erkenntnisse klimatischer Einflüsse auf die Anforderungen an Fenstern nach [Karlsson & Roos, 2004, S. 71ff.].
- b) Daten zur energetischen Situation der Wohngebäude aus der Marktforschung und den Verbänden auf der europäischen Ebene:
 - Angaben zur Beschreibung des Energieeinsparpotenzials bei Fenstern von [GEPVP, 2005, S. 6ff., GEPVP, 2000, S. 2ff.],
 - Berichte zum Fenstermarkt [IC, 2002, IC, 2003b, IC, 2003a, IC, 2004, VFF, 2002, S. 13ff., VFF, 2003, S. 4ff., Meyer & Wolter, 2003, S. 5ff.],

- Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks [ZIV, 2006, S. 14ff.] und Auswertungen der Altersstruktur von Heizkesseln nach [EC, 2002a, Kolkman, 1999, S. 28ff.],
- Daten zur Dämmung der Gebäude [EURIMA, 2002, Ecofys, 2002, EURIMA, 2001] und
- Informationen zu den Sanierungstätigkeiten im Wohngebäudesektor [Fiec, 2001 - 2005, IFO, 2005, IFO, 2006].

c) Angaben zur energetischen Situation der Wohngebäude auf der Ebene der Länder sind folgenden Studien und Berichten entnommen worden:

- Belgien: [Eichhammer, 2003, S. 42ff., S. 62ff., Groote, 2005; S. 17ff., Vandroogenbroeck, 2002],
- Dänemark: [Tommerup & Svendsen, 2006, S. 618ff., Statistics Denmark, 2001 bis 2005, Dyrbøl et al., 2005, Jensen, 2004],
- Deutschland: [RAS, 2005, Kleemann et al., 2003b, S. 30ff, Heinze, 2004, Geiger & Wagner, 2005, S.214 ff., GfK, 2003, Hansen, 2001, Heinze, 2002, Kleemann, 2003, Kraft, 2002, S. 77ff., S. 143 ff., Kreimeyer, 2004, PIB, 2000, RAS, 2003, BMVBW, 2003, FVHF, 2002, Hansen & Kleemann, 2005, S. 53ff., Schlomann et al., S. 3ff.],
- Finnland: [Nieminen, 1994, S. 187ff.],
- Griechenland: [Greece, 2002, Dimoudi, 2005, Lazari & Lambropoulou, 2004],
- Großbritannien: [BRE, 2003a, BRE, 2003b, BRE, 2006],
- Italien: [Faber & Enei, 2000, Gracceva & Contaldi, 2004, Presutto, 2004],
- Irland: [Watson & Williams, 2003],
- Niederlande/Belgien: [Vries & Berends, 1990, Verbeeck et al., 2001, S. 275ff., Verbeeck & Hens, 2005, S. 747ff., VROM, 2003],
- Österreich: [EVA, , 2000, S.10ff., EVA, 2001, EVA, 2002, Austria, 2001, S. 40ff., S. 58ff., vgl. EVA & UBA, 2006, Kernöcker, 1999],
- Portugal: [Meyer, 2002, Maldonado, 2006],
- Schweden: [Nässen & Holmberg, 2005, S. 1037ff., NHD, 2006, S.8ff.] und
- länderübergreifend: [Hansen & Wissel, 2005, Balaras et al., 2000a, S. 143ff., Balaras et al., 2000b, S. 111ff., Balaras et al., 2005b, S. 515ff., EEA, 2002, EEA, 2005a, Eichhammer & Rieder, 2005, S. 55ff., EU, 2005, Eurostat, 2006, ISI, 2001, Poel et al., 2007, S. 393ff.].

Wohn- und Bauteilflächen

Das Auswertungsverfahren wird auf der Basis der Tabelle 4-1 für das Jahr 2001 entwickelt. Der Anteil der beheizten Wohnfläche wird den Angaben von [Housing Statistics, 2002, S. 25ff.] und nationalen statistischen Angaben entnommen und den verschiedenen Altersklassen zugeordnet. Zwischen den Gebäudetypen erfolgt keine Differenzierung. Bezogen auf den Mittelwert kann der größte Anteil für die beheizte Wohnfläche in 2001 mit rund 98% in Schweden und der niedrigste Anteil mit 77% in Portugal ermittelt werden (vgl. Abbildung 4-1). Insgesamt beträgt der beheizte Wohnanteil an der gesamten Wohnfläche der EU – 15 rund 88 % bzw. 13,5 Mrd. m² in 2001.

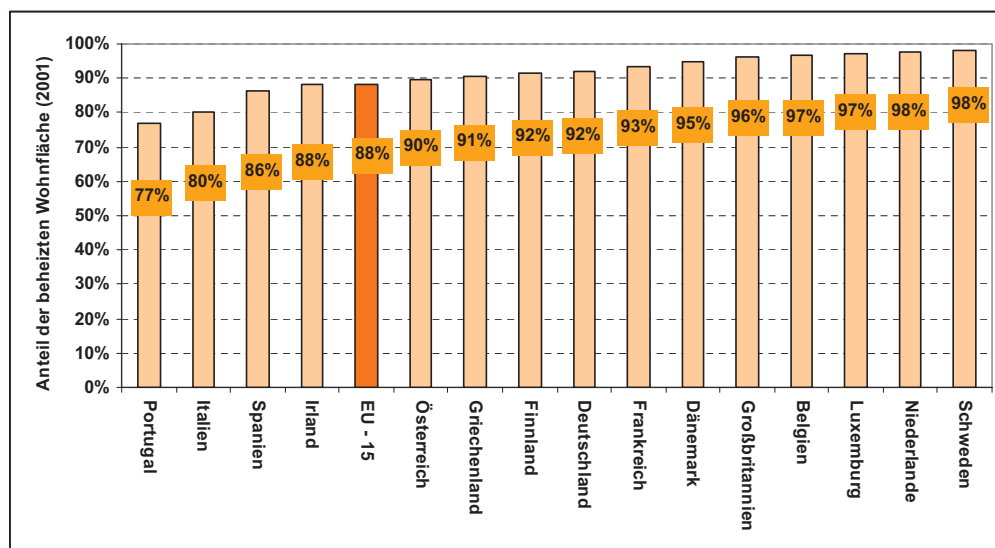


Abbildung 4-1: Länderspezifische Anteile der beheizten Wohnflächen

Neben den beheizten Wohnflächen werden zur wärmetechnischen Analyse die Bauteilflächen bestimmt. Für den deutschen Wohngebäudebestand erfolgt die Berechnung der Bauteilflächen nach dem Verfahren von [Loga, 2005]. Eine Prüfung dieser Flächenwerte wird unter anderem mit den Daten von [GfK, 2003, FVHF, 2002, VFF, 2002, S. 13ff., VFF, 2003, S. 4ff.] vorgenommen.

Eine Übertragung dieses Flächenschätzverfahrens auf den europäischen Bestand erfolgt unter der Berücksichtigung der architektonischen Besonderheiten in den einzelnen Ländern. Diese Besonderheiten werden durch die Definition von typischen Einzelgebäuden für die verschiedenen Wohngebäudetypen der einzelnen Länder beachtet. Die Einzelgebäude beinhalten unter anderem Aussagen zum A/V-Verhältnis, dem Gebäudevolumen sowie zu

den einzelnen Bauteilflächen. Das A/V-Verhältnis ist dabei der Quotient aus der Oberfläche A [m²] und dem Gebäudevolumen V [m³].

Durch Hochrechnung dieser Werte gemäß den beheizbaren Wohnflächen nach Tabelle 4-1 können die Gesamtflächen der Bauteile bestimmt werden. Zur Überprüfung des übertragenen Flächenschätzverfahrens werden die Gesamtflächen mit den verfügbaren Daten zu den Bauteilflächen von [IC, 2002, IC, 2003b, IC, 2003a, IC, 2004] verglichen.

Spezifische Raumwärmeverbrauchswerte

Die Grundlage für die Auswertung stellen die Raumwärmedaten für die Zeitreihenanalyse von 1990 bis 2001 dar. Diese Verbrauchsdaten werden zum Vergleich nach den Vorgaben von [Eurostat, 2005] temperaturbereinigt. Diese Temperaturbereinigung dient ausgehend vom Jahr 1990 zur Ermittlung eines linearen Trends der Verbrauchswerte bis 2001. Eine Division der linearisierten Verbrauchswerte durch die jeweiligen beheizten Wohnflächen führt zur Herleitung der flächenspezifischen Raumwärmewerte, die in der Abbildung 4-2 für die Jahre 1990 und 2001 für jedes Land dargestellt sind. Während in zehn Staaten eine Verringerung der spezifischen Raumwärme abgelesen werden kann, hat insgesamt der Raumwärmeverbrauch der EU-15 von 1.837 TWh in 1990 um mehr als 10 % auf 2.027 TWh zugenommen.

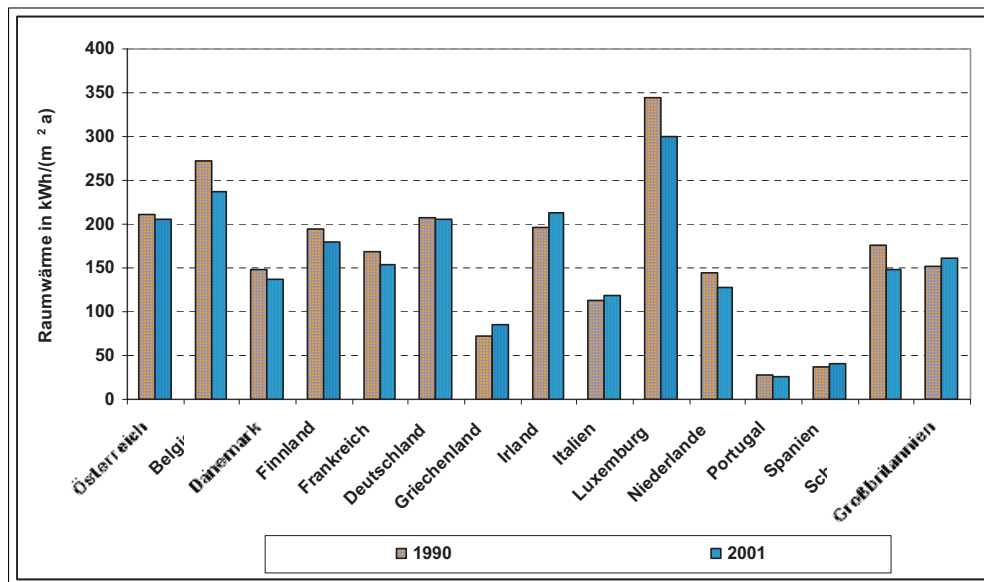


Abbildung 4-2: Flächenspezifische Raumwärmeverbräuche für die Jahre 1990 und 2001

4.2.2 Vereinfachtes Auswertungsverfahren

Ausgehend von den flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerten nach [Enerdata, 2002] wird der Verbrauchswert von 2001 für Deutschland nach Gebäudetypen und Altersklassen differenziert.

Eine Untergliederung der anderen Staaten wird in erster Näherung durch die Verwendung der Referenz-Heizgradtage nach [Eurostat, 2005] realisiert. Dabei ergibt sich der spezifische Wert aus dem Produkt des spezifischen Raumwärmewerts von Deutschland und dem Quotienten der Referenz-Heizgradtage des Landes x bezogen auf die Referenz-Heizgradtage für Deutschland.

$$Q_{I\,RW_{xI,i}}(t) = Q_{I\,RW_{DI,i}}(t) \cdot \frac{HZ_{ref\,x}}{HZ_{ref\,D}}$$

$Q_{I\,RW_{xI,i}}(t)$ = Flächenspezifischer Raumwärmeverbrauchswert des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp ij und die Baualtersklasse I [$kWh/(m^2a)$],

$Q_{I\,RW_{DI,i}}(t)$ = Flächenspezifischer Raumwärmeverbrauchswert in Deutschland im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [$kWh/(m^2a)$],

$HZ_{ref\,x}$ = Heizgradtage für das Land x im Referenzzeitraum (1980-2001),

$HZ_{ref\,D}$ = Heizgradtage für Deutschland im Referenzzeitraum (1980-2001).

Gleichung 4-3: Erste Näherung der flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerte

Aufgrund dieser Näherung entsprechen diese Verbrauchswerte nicht den tatsächlichen Bedarfswerten Q_{RW_x} des Jahres 2001. Aus diesem Grund wird in einem zweiten Schritt eine Korrektur der spezifischen Werte nach der Gleichung 4-4 durchgeführt. Die Werte der Gleichung 4-3 werden dabei einheitlich korrigiert um den Quotienten der aufsummierten Raumwärmeverbräuche in Bezug auf den tatsächlichen Verbrauch. Die Aufsummierung erfolgt je Gebäudetyp und Altersklasse durch das Produkt aus den Raumwärmeverbrauchswerten, den beheizten Wohnflächenanteilen $b_{xI,i}$ und den zugehörigen Wohnflächen $WF_{xI,i}$ nach Tabelle 4-1. In den Tabellen 4-2a und b sind die spezifischen Werte der Länder dargestellt.

4.2.2 Vereinfachtes Auswertungsverfahren

$$Q_{II\,RW_{xI,i}}(t) = Q_{I\,RW_{DI,i}}(t) \cdot \frac{HZ_{ref\,x}}{HZ_{ref\,D}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^m \left[\sum_{l=1}^n \left(Q_{I\,RW_{xI,i}}(t) \cdot b_{xI,i}(t) \cdot WF_{xI,i}(t) \right) \right]}{Q_{RW_x}(t)}$$

$Q_{II\,RW_{xI,i}}(t)$ = Korrigierter flächenspezifischer Raumwärmeverbrauchswert des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [kWh/(m²a)],

$Q_{RW_x}(t)$ = Gesamter Raumwärmeverbrauch für den Wohngebäudesektor des Landes x im Jahr t [TWh/a],

$b_{xI,i}$ = Beheizter Wohnflächenanteil des Landes x für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [%],

$WF_{xI,i}$ = Wohnfläche des Landes x für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [m²].

Gleichung 4-4: Korrektur der genäherten, flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerte

	vor 1919	1919 - 1944	1945 - 1960	1961 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2001
Mitgliedsstaat	in kWh / (m ² a)					
Österreich	294	239	244	242	211	162
Belgien	324	263	269	266	232	178
Dänemark	182	148	151	150	131	100
Finnland	261	212	216	214	187	143
Frankreich	211	171	175	174	152	116
Deutschland	293	238	244	241	211	162
Griechenland	138	112	115	114	99	76
Irland	281	228	233	231	201	154
Italien	165	134	137	136	119	91
Luxemburg	418	340	347	344	300	230
Niederlande	177	144	147	146	127	98
Portugal	38	31	31	31	27	21
Spanien	61	50	51	50	44	38
Schweden	209	170	173	172	150	115
Großbritannien	205	166	170	169	147	113

Tabelle 4-2a: 2. Näherung der flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerte des Jahres 2001 in Ein- und Zweifamilienhäusern

4.2.2 Vereinfachtes Auswertungsverfahren

Mitgliedsstaat	vor 1919	1919 - 1944	1945 - 1960	1961 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2001
	in kWh / (m ² a)					
Österreich	193	158	159	174	158	100
Belgien	212	174	175	192	175	110
Dänemark	119	98	99	108	98	62
Finnland	171	140	141	155	140	89
Frankreich	138	114	114	125	114	72
Deutschland	193	158	159	174	158	100
Griechenland	91	74	75	82	74	47
Irland	184	151	152	167	151	96
Italien	108	89	89	98	89	56
Luxemburg	274	225	226	248	225	143
Niederlande	116	95	96	105	96	60
Portugal	25	20	20	22	20	13
Spanien	40	33	33	36	33	25
Schweden	137	112	113	124	112	71
Großbritannien	134	110	111	122	110	70

Tabelle 4-2b: 2. Näherung der flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerte des Jahres 2001 in Mehrfamilienhäusern

Bilanzierung der Wärmeströme über die Gebäudehülle

Ausgehend von den linearisierten Raumwärmeverbrauchsdaten werden in Anlehnung an die [EN 832, 2003] die Energiebilanzen für die Wärmeströme über die Gebäudehülle ermittelt. Dies wird zur Konsistenzprüfung der verwendeten Daten durchgeführt.

Zur Realisierung dieser Energiebilanzen werden für die einzelnen Länder Wohngebäude für die verschiedenen Gebäudetypen und Altersklassen definiert. In der energetischen Bilanzierung der Wärmeströme werden nach dem Ein-Zonen-Modell Werte für die Wärmeverluste und Wärmegewinne und die zur Verfügung stehende Nutzenergie berechnet. Dabei wird für die Wärmeverluste durch Lüftung ein mittlerer Luftaustausch von $n = 0,7$ unterstellt, für den Umfang des beheizten Gebäudevolumens wird ein Wert von $0,85$ berücksichtigt und für die solaren Gewinne werden die nationalen globalen Einstrahlungen beachtet. Für die internen Gewinne wird ein Wert von 5 W pro Quadratmeter Wohnfläche angesetzt. Zur Beachtung des zeitabhängigen Verhaltens der Wohngebäude wird der Ausnutzungsgrad für die Wärmegewinne entsprechend der [EN 832, 2003] berechnet. Für die Heizungsanlagen wird entsprechend [Enerdata, 2002, Enerdata, 2006] der mittlere Nutzungsgrad angesetzt.

In der Tabelle 4-3 sind die Wärmegewinne und Wärmeverluste sowie die Raumwärmeverbrauchswerte für alle Länder in der Summe des Jahres 2001 aufgeführt. Die

Werte der mittleren Nutzenergie können in diesem vereinfachten Verfahren durch die Multiplikation der durchschnittlichen Nutzungsgrade der Heizkesselanlagen gemäß der Heizungsdatenbasis und den Raumwärmeverbräuchen bestimmt werden. Die Verluste durch Wärmebrücken und Transmissionen $Q_{xI,i}^*$ werden aus der Bilanz hergeleitet. Die Bilanz für den Raumwärmeverbrauch kann nach der Definition von Einzelgebäuden je Gebäudetyp und Baualtersklasse nach der Gleichung 4-5 durchgeführt werden.

$$Q_{II\,RW_{xI,i}}(t) = \left\{ \frac{Q_{xI,i}^* + Q_{L_{xI,i}} - \eta_{s_{xI,i}} \cdot Q_{G_{xI,i}}}{b_{xI,i} \cdot WF_{xI,i}} \cdot \frac{1}{\eta_{H_{xm}}} \right\}_t$$

$Q_{II\,RW_{xI,i}}(t)$ = Korrigierter Raumwärmeverbrauchswert des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [kWh/(m²a)],

$Q_{xI,i}^*(t)$ = Resultierender Wärmeverlust für Transmissionen und Wärmebrücken des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [TWh/a],

$Q_{L_{xI,i}}(t)$ = Wärmeverlust durch Lüftung des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [TWh/a],

$Q_{G_{xI,i}}(t)$ = Wärmegewinne des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [TWh/a],

$\eta_{s_{xI,i}}(t)$ = Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [%]

$WF_{xI,i}(t)$ = Maximal beheizbare Wohnflächen des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [m²],

$\eta_{H_{xm}}(t)$ = Mittlerer Nutzungsgrad der Heizkessel des Landes x im Jahr t [-].

Gleichung 4-5: Bilanzierung der Wärmeströme als Summenwerte für die Gebäudetypen und Baualtersklassen für die einzelnen Länder

Auf diese Art und Weise können die Gesamtwerte der Transmissions- und Wärmebrückenverluste durch die Anwendung der Gleichung 4-3 getrennt nach den

4.2.2 Vereinfachtes Auswertungsverfahren

Gebäudetypen und Altersklassen gegliedert werden. Zur Ermittlung der Wärmeverluste durch Transmissionen und Wärmebrücken für die einzelnen Bauteile der Gebäudehülle ist eine weitere Differenzierung notwendig. Diese Untergliederung wird in diesem Auswertungsverfahren in zwei Stufen vorgenommen.

In der ersten Stufe werden die Wärmeverluste der verschiedenen Bauteile nach der Gleichung 4-6 auf der Basis der Wärmedurchgangskoeffizienten im unsanierten und nach den Anforderungen der nationalen Standards (Tabelle 3-4) klassifiziert.

Mitgliedsstaat	Raumwärmeverbrauch	Nutzenergie	Lüftungsverlust	Wärmegewinne	Transmissionswärmeverlust
	in TWh/a				
Österreich	61,9	51,8	15,7	9,8	45,9
Belgien	87,7	74,0	15,2	11,3	70,1
Dänemark	34,5	34,1	9,1	6,5	31,5
Finnland	32,2	29,8	9,6	6,2	26,5
Frankreich	365,7	298,1	88,7	62,4	271,7
Deutschland	605,9	541,0	140,9	100,5	500,6
Griechenland	36,8	28,2	9,9	11,8	30,1
Irland	21,4	18,8	4,2	2,7	17,3
Italien	228,3	190,2	55,6	51,3	185,8
Luxemburg	5,5	4,7	0,9	0,5	4,3
Niederlande	81,7	74,4	27,1	18,0	65,3
Portugal	8,4	6,8	5,8	5,4	6,4
Spanien	66,1	50,0	38,9	29,8	40,9
Schweden	56,3	51,9	24,6	11,7	39,1
Großbritannien	335,0	296,7	90,5	58,3	264,5

Tabelle 4-3: Raumwärmebilanz nach der [EN 832, 2003] für die Gesamtbestände der untersuchten Länder in 2001

$$Q_{u_{xI,i}}^*(t_{x_e}) = \left[U_{u_{xI,i}}(t_{x_e}) \cdot BTF_{u_{xI,i}}(t) \cdot b_{xI,i}(t) \cdot HZ_{ref_x} \right]$$

$Q_{u_{xI,i}}^*(t_{x_e})$ = Wärmeverlust für Transmissionen und Wärmebrücken durch das Bauteil u des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I in Abhängigkeit des Zustands t_{x_e} [Wh/a],

$U_{u_{xI,i}}(t_{x_e})$ = Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils u des Landes x für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [W/(m²K)] mit $t_{x_e} = t_{x-1}$ für den

4.2.2 Vereinfachtes Auswertungsverfahren

unsanierten Zustand und $t_{x_e} = t_{x_0}$ für die Anforderungen nach den Standards,

$BTF_{u_{xI,i}}(t)$ = Bauteilfläche für das Bauteil u des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [m^2].

Gleichung 4-6: 1. Näherungsberechnung der Transmissions- und Wärmebrückenverluste je Bauteil, Gebäudetyp und Altersklasse

Diese jeweiligen Werte für die Transmissions- und Wärmebrückenverluste je Bauteil $Q_{u_{xI,i}}^*(t_{x_e})$ aus Gleichung 4-6 werden in der zweiten Stufe von den gesamten resultierenden Wärmeverlusten der Gebäudehülle $Q_{xI,i}^*(t)$ subtrahiert. Durch die anschließende Division der Bauteilflächen und Heizgradtage des Referenzzeitraums kann die Differenz zwischen dem Wärmedurchgangskoeffizienten der gesamten Umfassungsfläche und dem Wärmedurchgangskoeffizienten des zu untersuchenden Bauteils berechnet werden.

$$\Delta U_{u_{xI,i}}(t) = \frac{1}{HZ_{ref_x} \cdot b_{xI,i}(t)} \cdot \left[\frac{Q_{xI,i}^*}{\sum_{a=1}^r BTF_{u_{xI,i}}} - \frac{Q_{u_{xI,i}}^*(t_{x_e})}{BTF_{u_{xI,i}}} \right]_t$$

$\Delta U_{u_{xI,i}}(t)$ = Differenz zwischen dem Wärmedurchgangskoeffizienten der gesamten Umfassungsfläche und dem Wärmedurchgangskoeffizienten des zu untersuchenden Bauteils u für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I in Abhängigkeit des Zustands t_{x_e} des Landes x [$W/(m^2K)$];

$\sum_{u=1}^r BTF_{u_{xI,i}}(t)$ = Umfassungsfläche der Gebäudehülle des Landes x im Jahr t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I mit den Bauteilen $u = 1, \dots, r$ [m^2].

Gleichung 4-7: Bildung der Differenzen für die U-Werte zwischen der Umfassungsfläche und einem beliebigen Bauteil

Während der Gesamtwert für die Transmissionen $Q^*_{x_{i,j}}(t)$ nach der Berechnung aus der Gleichung 4-5 zum Zeitpunkt t konstant ist, variiert der Transmissionswert $Q^*_{u_{x_{i,j}}}(t_{x_e})$ für ein Bauteil der Gebäudehülle in Abhängigkeit der Wärmedurchgangskoeffizienten nach t_e aus der Gleichung 4-6. Durch das Einsetzen beider Transmissionswerte in Gleichung 4-7 kann jeweils eine Abweichung für den Wärmedurchgangskoeffizienten $\Delta U_{u_{x_{i,j}}}$ eines Bauteils für eine bestimmte Altersklasse eines Gebäudetyps ermittelt werden.

Zur genaueren Kennzeichnung des Ausgangszustands für eine beliebiges Bauteil der Gebäudehülle wird der Wärmedurchgangskoeffizient aus dem Mittelwert der Differenzen für den unsanierten Zustand und der Anforderung nach den nationalen Standards bei Sanierungen gebildet. Die beiden Zustände sind dabei durch die Wärmedurchgangskoeffizienten nach der Tabelle 4-4 charakterisiert.

$$U_{u_{x_{l,i}}}(t) = \left[\frac{\left[U_{u_{x_{l,i}}}(t_{x_{-1}}) - \Delta U_{u_{x_{l,i}}}(t_{x_{-1}}) \right] + \left[U_{u_{x_{l,i}}}(t_{x_0}) - \Delta U_{u_{x_{l,i}}}(t_{x_0}) \right]}{2} \right]$$

$U_{u_{x_{l,i}}}(t)$ = Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils u zum Zeitpunkt t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse l [$W/(m^2K)$];

$U_{u_{x_{l,i}}}(t_{x_e})$ = Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils u für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse l im unsanierten Zustand $t_{x_e} = t_{x_{-1}}$ und im Sanierungszustand $t_{x_e} = t_{x_0}$ [$W/(m^2K)$];

$\Delta U_{u_{x_{l,i}}}(t_{x_e})$ = Abweichung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils u von der Umfassungsfläche für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse l in Abhängigkeit des Zustands t_{x_e} des Landes x [$W/(m^2K)$].

Gleichung 4-8: Bestimmung des U-Werts eines beliebigen Bauteils

Dieses Auswertungsverfahren führt zur Ermittlung der U-Werte nach Tabelle 4-4. Hier sind getrennt für die Gebäudetypen Ein- und Mehrfamilienhäuser die zugehörigen, berechneten U-Werte der einzelnen Bauteile abgebildet. Diese Werte stellen gewichtete Mittelwerte dar. Eine Überprüfung der Werte ist auf der Grundlage der zur Verfügung stehenden Daten durchgeführt worden und führte nur zu geringen Abweichungen.

Einsparpotenziale aufgrund der U-Werte

Ein Ländervergleich zeigt, dass in den südeuropäischen Ländern die Wärmedurchgangskoeffizienten noch deutlich reduziert werden können, während in den nordeuropäischen Mitgliedsstaaten schon relativ gute Wärmestandards erreicht werden. So weist die Tabelle 4-4 beispielsweise für die Fassaden der Ein- und Zweifamilienhäuser in Schweden einen gewichteten U-Wert von 0,40 W/(m² K) aus, während in Portugal ein mittlerer U-Wert von 1,85 W/(m² K) vorliegt. Nach den nationalen Anforderungen nach Tabelle 4-5 können für dieses Beispiel durch energetische Sanierungen der Fassaden Verbesserungen des U-Werts in Schweden von 0,40 W/(m² K) auf 0,15 W/(m² K) und in Portugal von 1,85 W/(m² K) auf 0,60 W/(m² K) erzielt werden. Diese Gegenüberstellungen zeigen, dass im Vergleich der U-Werte für die Ausgangssituationen in Bezug auf Werte der nationalen Anforderungen noch erhebliche Einsparpotenziale vorhanden sind. Es kommt hinzu, dass in Zukunft aufgrund der europäischen Richtlinien im Wohngebäudesektor noch weitere Verschärfungen auf nationaler Ebene erfolgen werden und somit die Verminderung der Wärmeverluste eine noch wichtigere Bedeutung für die zukünftige Entwicklung des Raumwärmebedarfs darstellen wird.

Mitgliedsstaat	Ein- und Zweifamilienhäuser				Mehrfamilienhäuser			
	in W/(m²K)							
	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Fassade	Fenster	Dach	Keller
Österreich	1,17	2,90	1,12	1,05	1,12	2,84	1,07	0,99
Belgien	1,49	3,19	1,39	1,34	1,44	3,14	1,34	1,29
Dänemark	0,49	2,54	0,46	0,49	0,38	2,43	0,36	0,38
Finnland	0,49	2,32	0,45	0,49	0,37	2,20	0,33	0,37
Frankreich	1,47	3,24	1,37	1,27	1,41	3,19	1,31	1,21
Deutschland	1,16	2,81	1,08	1,06	1,10	2,75	1,02	1,00
Griechenland	1,40	2,90	1,80	1,80	1,44	2,94	1,84	1,84
Irland	1,22	3,09	1,17	1,06	1,49	3,36	1,44	1,33
Italien	1,39	3,21	1,74	1,79	1,40	3,23	1,75	1,80
Luxemburg	1,45	3,15	1,35	1,30	1,44	3,14	1,34	1,29
Niederlande	0,96	2,71	0,93	0,78	0,99	2,74	0,96	0,81
Portugal	1,85	3,35	2,25	2,25	1,67	3,17	2,07	2,07
Spanien	1,79	3,29	2,19	2,19	1,71	3,21	2,11	2,11
Schweden	0,40	2,32	0,40	0,40	0,40	2,32	0,40	0,40
Großbritannien	1,24	2,97	1,17	1,04	1,14	2,86	1,06	0,94

Tabelle 4-4: Mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile nach Gebäudetyp und Land (2001)

Sanierungszustände

Der länderspezifische Sanierungszustand kann ausgehend von der Gleichung 4-6 für alle Bauteile, Gebäudetypen und Baualtersklassen berechnet werden. Da nach den Annahmen des Auswertungsverfahrens nur die Transmissions- und Wärmebrückenverluste zur Verringerung des Raumwärmebedarfs herangezogen werden, kann das Verhältnis der U-Werte für ein beliebiges Bauteil aus dem Quotienten der Wärmedurchgangskoeffizienten im Ausgangszustand und den nationalen energetischen Standards bestimmt werden. Bei unsanierten Gebäudebeständen ergibt sich eine Zahl über eins. Das Verhältnis der U-Werte gibt an, um wie viel mal größer der aktuelle U-Wert gegenüber dem nach Verordnung sanierten Wert ist. Die Zahl gibt damit an, um wieviel Mal größer der aktuelle Energieverbrauch gegenüber dem des sanierten Gebäudes ist. Der Reziprokwert gibt an, um wie viel der aktuelle Energieverbrauch durch eine Sanierung reduziert werden kann.

Energetisches Sanierungsverhältnis der Gebäudehülle

Das energetische Sanierungsverhältnis der Bauteile der Gebäudehülle ergibt sich aus dem Verhältnis der U-Werte, welche die Wärmedurchgangskoeffizienten nach den Anforderungen der nationalen Standards in Bezug zu den derzeitigen Wärmedurchgangskoeffizienten darstellt (vgl. Gleichung 4-9).

$$ES_{u_{xI,i}}(t) = \left\{ \frac{U_{u_{xI,i}}(t_{x0})}{U_{u_{xI,i}}(t)} \right\}$$

$ES_{u_{xI,i}}(t)$ = Energetisches Sanierungsverhältnis des Bauteils u zum Zeitpunkt t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I des Landes x [-];

$U_{u_{xI,i}}(t)$ = Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils u zum Zeitpunkt t für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I [$W/m^2 K$],

$U_{u_{xI,i}}(t_{x0})$ = Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils u für den Gebäudetyp i und die Baualtersklasse I nach den nationalen energetischen Standards [$W/m^2 K$].

Gleichung 4-9: Bestimmung des energetischen Sanierungsverhältnisses

Die Kennzahlen für die energetischen Sanierungsverhältnisse der Bauteile der Gebäudehülle im Jahr 2001 werden auf der Grundlage des Auswertungsverfahrens nach der Gleichung 4-7 für die nationalen Daten über die Qualität und die Quantität der Sanierungen in der Tabelle 4-5 dargestellt.

4.2.2 Vereinfachtes Auswertungsverfahren

Mitgliedsstaat	Fassade	Fenster	Dach in %	Keller	Gebäudehülle
Österreich	33	63	24	43	41
Belgien	42	63	30	47	46
Dänemark	46	72	37	46	50
Finnland	61	62	45	61	57
Frankreich	32	62	19	30	36
Deutschland	37	62	25	52	44
Griechenland	44	69	34	34	45
Irland	23	65	15	26	32
Italien	33	78	20	25	39
Luxemburg	43	64	31	49	47
Niederlande	33	67	28	35	41
Portugal	41	62	30	30	41
Spanien	36	62	29	29	39
Schweden	41	65	41	41	47
Großbritannien	30	61	18	26	34

Tabelle 4-5: Kennzahlen der energetischen Sanierungsverhältnisse der Bauteile der Gebäudehülle in 2001

Vergleich der berechneten Werte mit nationalen Analysen

Ein Vergleich der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile und Gebäudetypen mit nationalen Analysen führt zur Bestätigung der ermittelten Werte zur Kennzeichnung des Ausgangszustands im Jahr 2001. In den Untersuchungen nach [vgl. Balaras, 2005a, S. 429ff.] haben von 191 Wohngebäuden aus fünf europäischen Staaten 42 % eine isolierte Gebäudehülle, 36 % weisen nur partielle Isolierungen auf und 22 % der Wohngebäude verfügen über keine Wärmeisolierung. Von den partiell isolierten Wohngebäuden haben 33% gedämmte Dächer und Kellerböden, 23 % gedämmte Dächer, 17 % eine Fassadendämmung, 14 % eine Fassaden- und Dachdämmung, 8% eine Dämmung des Kellerbodens und nur 6% eine Fassaden- und Kellerbodendämmung .

Der durchschnittliche Wärmeverlust durch die Transmissionen der einzelnen Bauteile der Gebäudehülle und die Lüftung sind für den dänischen Wohngebäudebestand in 2003 in der Abbildung 4-3 dargestellt [Tommerup & Svendsen, 2006, S. 619]. Die Wärmeverluste sind in Watt pro Quadratmeter der beheizten Wohnfläche pro Temperaturdifferenz von Innen- und Außentemperatur von 1 Kelvin erfasst. Der dänische Wohngebäudebestand ist in sieben Altersgruppen unterteilt. In den letzten vier Gruppen ist ein deutlich abfallender Trend des P-Faktors und somit der Wärmeverluste bei den Bauteilen zu erkennen. Die gestiegenen Anforderungen an die Bauteile führen zur Steigerung der Wärmeverluste durch die Lüftung.

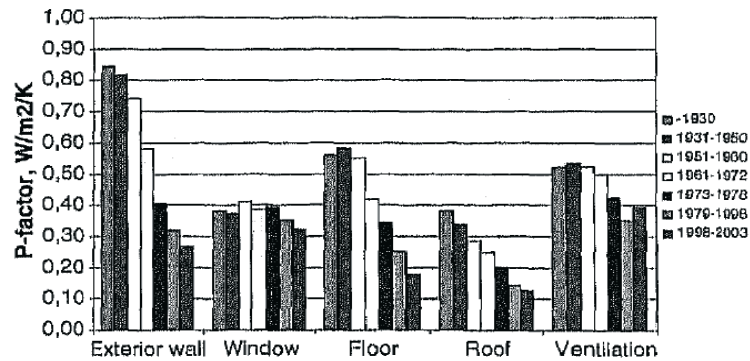


Abbildung 4-3: Mittlere Wärmeverluste des dänischen Wohngebäudebestands [Tommerup & Svendsen, 2006, S. 619]

Im schwedischen Wohngebäudebestand hat der flächenspezifische Raumwärmeverbrauch von 1970 bis 2000 bei Ein- und Zweifamilienhäusern zu Reduzierungen um 47 % von 340 kWh/(m² a) auf 180 kWh/(m² a) geführt. Die Entwicklung der Verbrauchswerte für den Neubau ist im gleichen Zeitraum um mehr als 40 % gesunken. Auffällig ist, dass seit 1996 ein ansteigender Trend der Verbrauchswerte für Neubauten von Mehrfamilienhäusern abgelesen werden kann. In den Abbildungen 4-4 und 4-5 sind die zeitlichen Verläufe für die beiden Gebäudetypen aufgeführt. Die Niedrigenergiehäuser stellen das mögliche Einsparniveau dar.

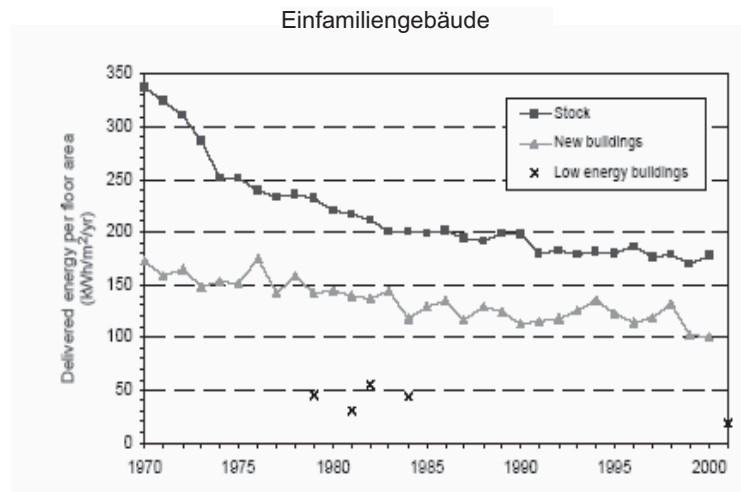


Abbildung 4-4: Entwicklung der flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerte des schwedischen Wohngebäudebestands von 1970 bis 2000 für den Bestand und die Neubauten bei Einfamiliengebäuden [Nässen & Holmberg, 2005, S. 1043]

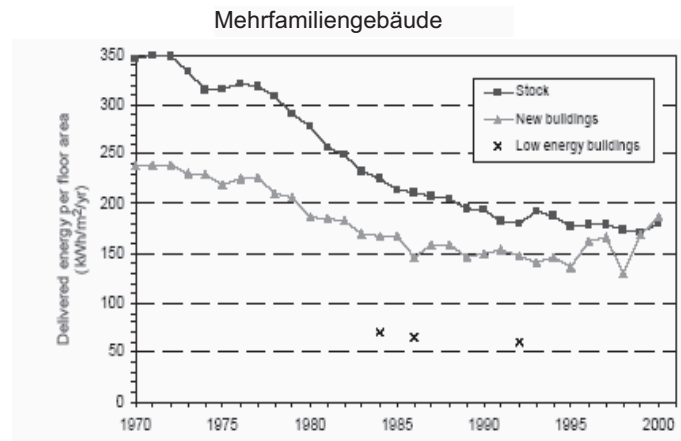


Abbildung 4-5: Entwicklung der flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerte des schwedischen Wohngebäudebestands von 1970 bis 2000 für den Bestand und die Neubauten bei Mehrfamiliengebäuden [Nässen & Holmberg, 2005, S. 1043]

Wird der schwedische Wohngebäudebestand von 1975 mit rund 250 kWh/(m² a) ohne Effizienzänderungen und nur unter der Berücksichtigung des Neubaus bis 2000 fortgeschrieben, so ergibt sich nach [Nässen & Holmberg, 2005, S. 1043] ein hypothetischer Raumwärmeverbrauch in 2000 für die Einfamiliengebäude von 222 kWh/(m² a). Der tatsächliche Verbrauch liegt 2000 bei ungefähr 180 kWh/(m² a), so dass der Neubau mit 41 % (28 kWh/(m²a)) und die Sanierung des Bestands zu 59 % (42 kWh/m²a) zur Verbesserung des flächenspezifischen Raumwärmebedarfs beitragen.

Bei den Mehrfamilienhäusern wurden im Bestand schneller Verbrauchsvermindernungen erzielt als bei Neubauten, da analog dem Zeitraum der Einfamiliengebäude bei neuen Wohngebäuden eine Verbesserung um 34 kWh/(m² a), die nur zu 25 % zu den Verbrauchsminderungen beitragen, erzielt wurde. Folglich wurden 75 % der Raumwärmevermindernungen im Bereich des Bestands durch thermische Sanierungen ermöglicht [Nässen & Holmberg, 2005, S. 1043].

4.3 Energiereduktion durch energetische Sanierung

Zur Durchführung von länderübergreifenden Vergleichen und zur Ableitung der Energieeinsparpotenziale werden ausgehend von der Kennzeichnung der energetischen Sanierungszustände Energiekennwerte bestimmt. Diese flächenspezifischen Verbrauchskennwerte für den Raumwärmebedarf können für die verschiedenen Gebäudetypen und die einzelnen Bauteile sowie für die zugehörigen Altersklassen gebildet werden.

Eine Analyse der Verbrauchskennwerte für den Gesamtbestand der Wohngebäude, gegliedert nach den Altersklassen, ist in der Tabelle 4-6 dargestellt. Tendenziell ist der größte spezifische Verbrauch in der ältesten Baualtersklasse zu finden. In der Baualtersklasse 1919 bis 1944 ist der renovierte Anteil der beheizten Wohnfläche bereits berücksichtigt, so dass der Verbrauch unterhalb der Werte bis 1981 liegt. In der jüngsten Altersklasse ist eine deutliche Verbesserung der spezifischen Verbrauchswerte auf 134 kWh/(m²a) zu erkennen, der in Deutschland rund 35 % unter dem mittleren Verbrauch der bewohnten und beheizten Wohnfläche von 205 kWh/(m²a) in 2001 liegt. Allerdings ist der geforderte Raumwärmeverbrauch für Neubauten von 100 kWh/(m²a) nach der Wärmeschutzverordnung 1995 bis 2001 in Deutschland um 25 % überschritten worden, denn die Neubauten in diesem Zeitraum führen zu einem flächenspezifischen Raumwärmeverbrauch von 125 kWh/(m²a).

Im Vergleich der nationalen Verbrauchswerte für den Gesamtbestand der beheizten Wohnfläche weisen die nordeuropäischen Mitgliedsstaaten die größten Verminderungen der spezifischen Raumwärmeverbräuche über die einzelnen Altersklassen aus, während aus klimatischen Gründen der Raumwärmeverbrauch in den südeuropäischen Staaten deutlich niedriger ausfällt. Die Tabellen zur Unterscheidung von Ein- und Mehrfamiliengebäude und den zugehörigen Flächenverbräuchen für die Raumwärme befinden sich im Anhang. Diese flächenspezifischen Werte dienen in der Energiebilanz zur Charakterisierung des Ausgangszustands und zur Reduktion der spezifischen Verbesserungen durch energetische Sanierungen.

4.3 Energiereduktion durch energetische Sanierung

Mitgliedsstaat	vor 1919	1919 - 1944	1945 - 1960	1961 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2001	Mittel
	in kWh / (m ² a)						
Österreich	250	199	211	215	192	136	205
Belgien	304	241	250	251	219	163	237
Dänemark	164	125	134	141	125	91	137
Finnland	244	190	200	188	176	128	179
Frankreich	204	159	153	161	147	105	160
Deutschland	259	207	204	212	187	134	205
Griechenland	123	98	97	91	82	56	86
Irland	275	222	230	229	199	147	212
Italien	151	117	115	117	102	69	119
Luxemburg	393	306	315	322	287	208	299
Niederlande	168	132	133	137	120	89	128
Portugal	39	31	32	32	28	21	29
Spanien	56	43	44	42	39	31	41
Schweden	195	145	140	151	136	91	148
Großbritannien	196	157	162	162	141	106	162
EU - 15	195	155	153	135	128	94	145

Tabelle 4-6: Flächenspezifische Raumwärmeverbrauchswerte des Wohngebäudebestands von 2001 nach Altersklassen in kWh/(m²a)

Energieeinsparpotenziale durch energetische Sanierung der Gebäudehülle

Die berechnete Einsparung des Energieverbrauchs durch die unterstellte energetische Sanierung der Gebäudehülle führt bei der Entwicklung der Raumwärmebilanz zu den spezifischen Einsparungen, die in der nachfolgenden Tabelle 4-7 aufgeführt sind. Die Berechnungen der Energieeinsparungen erfolgen auf der Prämisse der Anforderungen für die Bauteile nach der Tabelle 3-4 und berücksichtigen den Umstand, dass keine Heizungssanierungen durchgeführt werden. Der Bilanzzeitpunkt entspricht dem Jahr 2001 und der Bestand wurde für die Gesamtheit der Ein- und Mehrfamiliengebäude in Altersklassen untergliedert. Die größten Einsparungen können in der ältesten Altersklasse erzielt werden.

Der nationale Vergleich zeigt, dass sich in Irland und Luxemburg die größten Potenziale bei der Sanierung der Gebäudehülle ergeben. Insgesamt ist festzustellen, dass der Wärmebedarf der Wohngebäude, die vor dem Jahr 1990 erbaut wurden, durch wärmetechnische Maßnahmen am stärksten verändert werden kann. Im Mittel kann der flächenspezifische Raumwärmebedarf der Gebäudehülle mindestens auf das Einsparniveau der Altersklasse von 1981 bis 1990 vermindert werden.

Diese flächenspezifischen Energieeinsparungen können analog auch für die beiden Gebäudetypen sowie die einzelnen Bauteile und die zugehörigen Altersklassen erreicht werden, wie im Anhang detailliert aufgelistet.

4.3 Energiereduktion durch energetische Sanierung

Mitgliedsstaat	vor 1919	1919 - 1944	1945 - 1960	1961 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2001	Mittel
	in kWh / (m²a)						
Österreich	131	88	96	101	84	40	93
Belgien	160	109	115	117	96	51	107
Dänemark	98	44	67	75	60	26	69
Finnland	122	54	92	80	74	28	72
Frankreich	112	76	74	80	70	40	79
Deutschland	146	100	100	107	85	39	100
Griechenland	60	46	47	44	36	19	40
Irland	179	133	139	137	110	62	122
Italien	83	55	55	59	54	27	60
Luxemburg	210	141	147	154	127	65	136
Niederlande	94	63	64	68	52	26	60
Portugal	21	14	15	15	12	7	13
Spanien	24	11	15	14	15	10	14
Schweden	94	54	52	60	47	9	58
Großbritannien	115	80	84	85	66	36	85
EU - 15	109	74	74	66	57	30	70

Tabelle 4-7: Flächenspezifische Energieeinsparpotenziale der Gebäudehülle

Einsparungen durch den Austausch der Heizkessel

Zur Ermittlung der Einsparungen durch den Austausch der Heizkessel wird bei den Sanierungen der Einsatz von Brennwertkesseln unterstellt. Ausgehend von der Heizungsdatenbasis für den Bestand im Jahr 2001 kann die Verbesserung der Nutzungsgrade bestimmt werden. Wird die Differenz der Nutzungsgrade mit dem Raumwärmeverbrauch des Jahres 2001 multipliziert, so kann das Einsparpotenzial durch den Austausch der Heizkessel bestimmt werden. Wird in dieser Berechnung berücksichtigt, dass sich die sonstigen wärmetechnischen Rahmenbedingungen des Gebäudes nicht ändern, so können die Einsparungen differenziert nach den Gebäudetypen und den Baualtersklassen gemäß der Gleichung 4-10 bestimmt werden. Die mittleren flächenspezifischen Einsparungen sind in der Tabelle 4-8 aufgeführt.

$$\Delta Q_{H_{x_i,j}}(t) = Q_{RW_{x_i,j}}(t) \cdot \left[\eta_{HB_{x_i,j}} - \eta_{H_{x_i,j}} \right]_t$$

$\Delta Q_{H_{x_i,j}}(t)$ = Raumwärmeeinsparpotenzial durch den Austausch alter Heizkessel zum Zeitpunkt t für das Land x für den Gebäudetyp j und die Baualtersklasse i [TWh],

$Q_{RW\,x_i,j}(t)$ = Raumwärmeverbrauch des Landes x zum Zeitpunkt t für den Gebäudetyp j und die Baualtersklasse i [TWh],

$\eta_{H\,x_i,j}(t)$ = Nutzungsgrad des Heizkessels des Landes x zum Zeitpunkt t für den Gebäudetyp j und die Baualtersklasse i [-],

$\eta_{HB\,x_i,j}(t)$ = Nutzungsgrad des Brennwertheizkessels des Landes x zum Zeitpunkt t für den Gebäudetyp j und die Baualtersklasse i [-].

Gleichung 4-10: Ermittlung des energetischen Energieeinsparpotenzials durch den Austausch alter Heizkessel

Flächenspezifische Raumwärmeeinsparpotenziale der Bauteile

In der Tabelle 4-8 sind die mittleren flächenspezifischen Raumwärmereduktionspotenziale der Bauteile aufgeführt. Da die Einzeleffekte der Dämmung der Gebäudehülle und der Austausch des Heizkessels nicht summiert werden können, werden die Einsparungen im Gebäudebestand anhand von gewichteten Mittelwerten ermittelt.

Im europäischen Mittel (EU-15) können hierdurch bauteilspezifische Energiereduktionen von 29 kWh/(m²a) bei Fassadensanierungen, je 20 kWh/(m²a) bei Dachsanierungen und beim Austausch der Heizkessel sowie weitere 11 kWh/(m²a) bei der Kellersanierung und 10 kWh/(m²a) bei Fenstersanierungen erreicht werden. Beim Vergleich der flächenspezifischen Einsparungen ergibt sich für Fassadensanierungen eine Spannbreite von 4 kWh/(m²a) in Portugal und bis zu 72 kWh/(m²a) in Irland.

Auffallend ist bei den südeuropäischen Ländern, dass das Einsparpotenzial durch Ersatz der Fenster, beispielsweise in Italien mit 4 kWh/(m²a), an den gesamten Einsparungen der Gebäudehülle relativ klein ist. Diese Aussage wird durch den europäischen Fensterverband allerdings bestätigt, weil in den vergangenen Jahren die Menge der Fenstereinheiten zur Sanierung von Gebäuden in Italien mit 81,1 % im Vergleich zum Neubau am größten und folglich das noch vorhandene Potenzial deutlich kleiner ist.

Die Einsparungen durch den Austausch des Heizkessels führen in den nordeuropäischen Staaten im Vergleich zu den südeuropäischen Mitgliedsländern zu deutlich geringeren relativen Anteilen.

4.3 Energiereduktion durch energetische Sanierung

Mitgliedsstaat	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung
	in kWh / (m ² a)				
Österreich	38	16	26	14	33
Belgien	44	16	31	17	37
Dänemark	29	6	20	13	2
Finnland	27	11	21	12	13
Frankreich	33	9	23	14	30
Deutschland	41	16	29	14	22
Griechenland	13	5	13	9	20
Irland	72	12	24	14	25
Italien	31	4	15	10	20
Luxemburg	59	14	41	22	43
Niederlande	32	11	11	6	12
Portugal	4	4	3	2	6
Spanien	4	4	4	3	10
Schweden	23	9	15	11	12
Großbritannien	30	14	26	15	19
EU - 15	29	10	20	11	20

Tabelle 4-8: Mittlere flächenspezifische und relative Energieeinsparungen der Bauteile (2001)

Gesamtes Einsparpotenzial durch Sanierungsmaßnahmen im europäischen Wohngebäudebestand

Die energetische Bewertung des europäischen Wohngebäudebestands auf der Grundlage der unterstellten Anforderungen führt durch die Multiplikation von Tabelle 4-8 mit den Bauteilflächen der bewohnten Gebäude zu den insgesamt erzielbaren Werten an Energieeinsparungen.

Im Jahr 2001 kann durch eine vollständige energetische Sanierung des Wohngebäudebestands der temperaturbereinigte Raumwärmeverbrauch im europäischen Mittel um 70 % von 2040 TWh auf 609 TWh reduziert werden. Die größten Anteile an diesem Reduktionspotenzial besitzt Deutschland mit 28,5 % und 408,6 TWh. Das Potenzial in Frankreich beträgt 276,9 TWh und führt zu einem Anteil in der EU-15 von 19,3 %. Weitere 15,8 % tragen die Sanierungen in Großbritannien und 13,7 % in Italien zur Verminderung des Raumwärmebedarfs bei. In der nachfolgenden Tabelle 4-9 sind die detaillierten Einsparpotenziale für die Gebäudetypen und die zugehörigen Altersklassen aufgeführt.

4.3 Energiereduktion durch energetische Sanierung

Mitgliedsstaat	Ein- und Zweifamilienhäuser							Mehrfamilienhäuser							Alle Wohngebäude	
	vor 1919	1919 - 1944	1945 - 1960	1961 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2001	Summe	vor 1919	1919 - 1944	1945 - 1960	1961 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2001	Summe	Insgesamt in TWh / a	
Österreich	7,6	2,2	3,9	10,2	3,4	2,5	29,8	3,5	1,3	1,4	4,5	1,4	0,8	13,0	42,8	
Belgien	10,3	7,6	9,4	11,2	5,6	4,8	49	1,4	1,6	1,5	2,1	1,3	0,7	8,5	57,5	
Dänemark	4,5	1,4	2	5,8	1,6	0,5	15,9	0,8	0,6	0,3	0,7	0,2	0,0	2,7	18,5	
Finnland	0,5	0,9	3,3	4,9	2,8	1,2	13,6	0,0	0,2	0,3	1,9	0,4	0,0	2,9	16,5	
Frankreich	68,3	22,1	26,9	46,7	20	15,1	199,2	10,2	6,1	13,6	19,5	5,4	3,8	58,5	257,7	
Deutschland	74	30,9	72,8	56,6	21,4	17,1	272,9	24,1	12,1	37,7	31,0	13,3	6,5	124,5	397,4	
Griechenland	0,4	1,4	2,2	4,1	1,5	0,8	10,4	0,1	0,5	1,0	6,9	2,4	1,0	11,9	22,4	
Irland	3,3	1,7	2,3	5	2,1	1,9	16,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,7	17,1	
Italien	34,7	10,3	16,7	40,8	7,4	2,6	112,5	7,0	3,9	9,1	28,9	7,3	2,3	58,4	170,9	
Luxemburg	0,6	0,4	0,5	0,9	0,3	0,4	3,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,6	3,7	
Niederlande	4,8	5	5,6	14	4,8	2,7	37	0,5	1,1	1,3	2,8	1,1	0,4	7,1	44,1	
Portugal	0,5	0,5	1	1,7	0,9	0,6	5,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,6	5,7	
Spanien	4,3	0,9	3,5	6,6	3,2	2,5	21	0,5	0,1	0,8	5,4	1,4	0,9	9,2	30,2	
Schweden	4,5	1,9	3	6,6	1,4	0,3	17,8	0,6	0,8	2,2	3,6	0,7	0,1	8,0	25,8	
Großbritannien	54,8	32,4	36,4	51,1	12,9	7,2	194,8	4,8	3,9	3,3	5,6	1,7	0,6	19,9	214,7	
EU - 15	273,1	119,9	189,5	266,3	89,5	60,2	998,5	53,8	32,4	73,0	113,5	36,8	17,2	326,7	1325,2	

Tabelle 4-9: Energie-Einsparpotenziale durch die vollständige energetische Sanierung der Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage des Wohngebäudebestands nach Gebäudetypen und zugehörigen Baualtersklassen in der EU-15 (2001)

5. Modellierung von Alterungsprozessen eines Einzelgebäudes

Die Reduktion des Energiebedarfs kann im Wohngebäudesektor am effektivsten durch energetische Sanierungen im Bestand erfolgen. Aus wirtschaftlichen Gründen sind diese Sanierungen dann sinnvoll, wenn die Erneuerung oder der Austausch von Bauteilen der Gebäudehülle und der Heizungsanlage ansteht. Vor diesem Hintergrund wird in den nachfolgenden Abschnitten für Einzelgebäude der Einfluss der Alterung auf den Zeitpunkt der Sanierung analysiert. Ausgehend von den Definitionen für die Lebensdauer der Bauteile, die technische Ersatzgrenze und die Renovierungsintervalle wird der Alterungsprozess von Einzelgebäuden zur Ableitung der Sanierungshäufigkeit modelliert.

5.1 Abbildung des Alterungsprozesses

Die eingesetzte Methode zur Simulation der Alterungsprozesse nach [Garavaglia, 2004, S. 419ff. , Pavani, 2003, S. 551ff.] arbeitet, wie in Kapitel 3.4.1 ausgeführt, mit dem Wahrscheinlichkeitsansatz und besitzt als wesentliche Kenngrößen die Ausfallwahrscheinlichkeit, die Ausfalldichte und die Ausfallrate.

Ausfallwahrscheinlichkeit

Die Ausfallwahrscheinlichkeit $F_u(t)$ ordnet jeder Zeiteinheit t die Wahrscheinlichkeit P_u zu, dass ein Bauteil u innerhalb eines Zeitraums T ausfällt. Hierdurch kann eine stetige und differenzierbare Funktion hergeleitet werden, die monoton von $F(t=0) = 0$ bis $F(t=\infty) = 1$ wächst.

$$F_u(t) = P_u(T \leq t) = \int_{t_0}^{t=\infty} f_u(t) dt \quad \text{mit } t \geq 0$$

$F_u(t)$ = Ausfallwahrscheinlichkeit des Bauteils u in t ,

$P_u(T \leq t)$ = Wahrscheinlichkeit für den Verlust der Funktionsfähigkeit in T ,

$f_u(t)$ = Häufigkeitsverteilung für den Verlust der Funktionsfähigkeit des Bauteils u von $t=0$ bis $t=\infty$ (Ausfalldichte).

Gleichung 5-1: Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit

Ausfalldichte

Der Zusammenhang zwischen der Verteilungsfunktion $F_u(t)$ und der Dichtefunktion $f_u(t)$ kann durch die Differenzierung von $F_u(t)$ hergeleitet werden. Diese Dichtefunktion, deren Flächeninhalt den Wert 1 besitzt, ist ein Maß für die Ausfalldichte.

$$f_u(t) = F'_u(t) = \frac{dF_u(t)}{dt}$$

Gleichung 5-2: Bestimmung der Ausfalldichte

Ausfallrate

Um ein Maß für die Anfälligkeit von Bauteilen zu bekommen, wenn diese ein bestimmtes Alter erreicht haben, wird die Ausfallrate $q_u(t)$ berechnet. Sie gibt an, wann ein Bauteil in der Zeitspanne $[t; t+\Delta t]$ ausfällt, wenn es im Zeitraum $[0; t]$ nicht ausgefallen ist. Die Bildung des Grenzwerts mit $\Delta t \rightarrow 0$ führt zum Quotienten der Ausfalldichte und der Reliabilität $R_u(t)$.

$$(a) \quad q_u(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{P_u(t < \bar{T} \leq t + \Delta t)}{P_u(\bar{T} > t)} \right] \text{ mit } t, \Delta t > 0$$

Durch das Ersetzen der Wahrscheinlichkeit für den Verlust der Funktionsfähigkeit in \bar{T} durch die Ausfallrate $f_u(t)$ aus der Gleichung 5-2 folgt:

$$(b) \quad q_u(t) = \frac{f_u(t)}{1 - F_u(t)}$$

Wird die Überlebenswahrscheinlichkeit $R_u(t)$ anstelle der Ausfallwahrscheinlichkeit des Bauteils u gewählt, so kann die Ausfallrate durch folgende Gleichung ermittelt werden:

$$(c) \quad q_u(t) = \frac{-R'_u(t)}{R_u(t)} \quad \Leftrightarrow \quad q_u(t) = \ln[R_u(t)]'$$

$R_u(t)$ = Funktion zur Überlebenswahrscheinlichkeit in t [-],

$q_u(t)$ = Ausfallrate des Bauteils u in t [-].

Gleichung 5-3: Herleitung der Ausfallrate

Eine Integration der Ausfallrate $q_u(t)$ über den Zeitraum $t+\Delta t$ führt unter der Verwendung der e-Funktion, die bei konstant positiver Ausfallrate exponentiell sinkt, zur Überlebenswahrscheinlichkeit (vgl. Gleichung 5-4). Wird die Ausfallrate $q_u(t)$ mit zunehmender Zeit t größer, so erhält man eine abnehmende Überlebenswahrscheinlichkeit. Diese Darstellung entspricht den Beobachtungen der Bauteile in der Realität, nach denen mit steigendem Alter die Ausfallrate zunimmt.

$$\frac{R_u(t + \Delta t)}{R_u(t)} = e^{-\int_t^{t+\Delta t} q_u(t) dt}$$

$R_u(t + \Delta t)$ = Funktion zur Überlebenswahrscheinlichkeit im Zeitraum $t+\Delta t$ [-],

Gleichung 5-4: Integration der Ausfalldichte

5.2 Verteilung der Ausfallwahrscheinlichkeiten im Alterungsprozess

Die Ausfallwahrscheinlichkeiten nach Gleichung 5-1 besitzen über die Zeit charakteristische Verteilungen für den Alterungsprozess. In der Abbildung 5-1 wird am Beispiel von Vakuumdämmungen der Alterungsprozess in Phasen nach [Simmler,2002, S. 3ff.] gekennzeichnet. In der Abbildung sind die Ausfälle über einer logarithmierten Zeitachse dargestellt. Dabei ist die erste Phase mit höheren Ausfallraten kurz nach der Produktion verbunden und beschreibt Frühausfälle. Nach einer weiteren recht langen Phase mit einer geringen Rate an zufälligen Ausfällen steigt die Ausfallrate aufgrund der Alterung in der Verschleißphase des Systems an. Abbildung 5-1 zeigt die typische "Badewannenkurve" für die Ausfallrate.

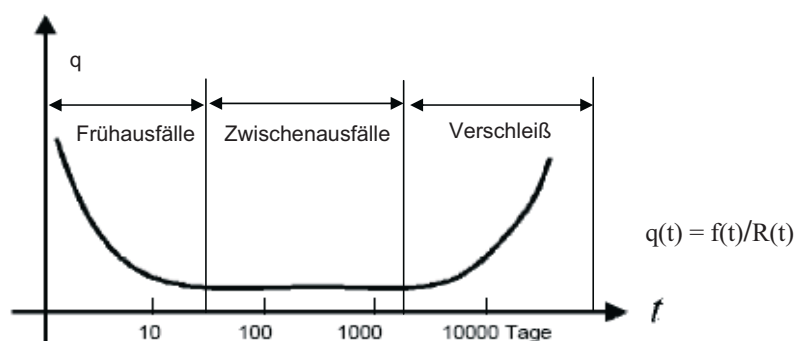


Abbildung 5-1: Qualitative Beschreibung der Ausfallrate von Vakuumdämmungen [Simmler, 2002, S. 5]

Diese Badewannenkurve gibt in der dritten Phase den Verschleiß und somit die Alterung des zu analysierenden Bauteils wieder. Die Darstellung des Ausfallprozesses während der Verschleißphase kann als Funktion der Nutzungsdauer betrachtet werden. Die Verteilung dieser Funktion entspricht der Ausfallwahrscheinlichkeit $F(t)$ nach der Gleichung 5-1 und ist weibullverteilt, da entgegen einer Exponentialverteilung mit konstanter Ausfallrate in der Verschleißphase von einer steigenden Ausfallrate ausgegangen wird.

Die Verwendung einer Weibull-Verteilung für die Ausfallwahrscheinlichkeitsfunktion $F(t)$ führt unter der Beachtung einer steigenden Ausfallrate durch den Alterungsexponenten m , der die Ausfallsteilheit und somit die Kurvenform charakterisiert, der technischen Lebensdauer t_L und dem ausfallfreien Zeitraum $[0; t_0]$ zur Gleichung 5-5.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{t_L-t_0}\right)^m} \quad \text{für } t, t_0, m > 0.$$

m = Alterungsexponent [-];

t_L = Technische Lebensdauer [a];

t_0 = Ausfallfreie Zeit [a].

Gleichung 5-5: Weibullverteilte Ausfallwahrscheinlichkeit

Die Ausfalldichtefunktion, die der relativen Ausfallwahrscheinlichkeit entspricht, kann durch Ableitung der Ausfallwahrscheinlichkeit nach der Zeit direkt hergeleitet werden:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{m}{t_L - t_0} \cdot \left[\frac{t - t_0}{t_L - t_0} \right]^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-t_0}{t_L-t_0}\right)^m}$$

Gleichung 5-6: Weibullverteilte Ausfalldichte

Alterungsexponent

Die Funktion weist keine Konvergenz für den Anstieg der Ausfallrate mit dem Alterungsexponenten $m > 1$ auf. Dies führt am ehesten zur Abbildung der Realität, denn beim Erreichen der mittleren technischen Lebensdauer kommt es zu einer deutlichen Steigerung der Ausfallrate. Wird m zum Beispiel der Wert 3,5 zugeordnet, so ist der Verlauf vergleichbar mit einer Normalverteilung, die allerdings etwas der Weibull-Verteilung aufgrund der niedrigen Ausfallrate zu Beginn nachläuft.

In der nachfolgenden Abbildung 5-2 werden beispielhafte Ausfalldichtefunktionen mit verschiedenen Alterungsexponenten m über der Lebensdauer in Jahren abgebildet. Die y-Achse nimmt Bezug auf die Ausfallraten $q(t)$, die durch die verschiedenen

Alterungsexponenten m beschrieben werden können. Für die technische Lebensdauer wurde in diesem Beispiel ein Wert von 48 Jahren angesetzt. Ein Vergleich der Ausfallraten mit einem Alterungsexponenten $m > 1$ in der Abbildung 5-2 zeigt, dass die Ausfälle zunächst mit der Lebensdauer zunehmen und nach dem Erreichen eines Maximums wieder abnehmen. In den Ausfalldichtefunktionen mit $m=3$ und $m=7$ werden zudem ausfallfreie Zeiträume vor dem Eintreten des ersten Ausfalls ersichtlich. Die Ausfallrate q besitzt in der Abbildung 5-2 nach 20 Jahren für $m=3$ einen Wert von 1%/a. Im Vergleich zu $m=7$ mit einem Wert von ungefähr 0,001 %/a sind die Ausfälle bereits deutlich größer.

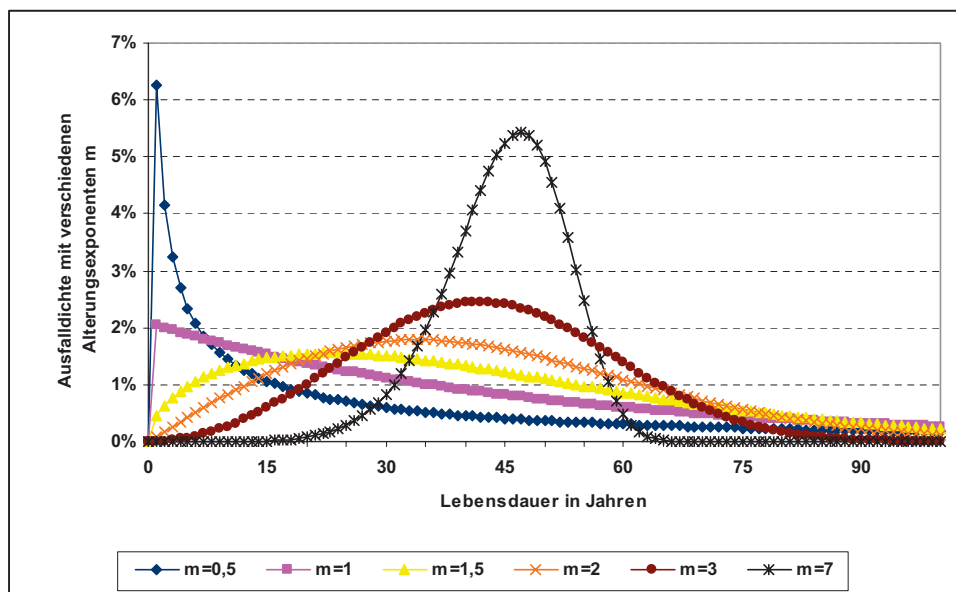


Abbildung 5-2: Ausfalldichtefunktionen mit unterschiedlichen Alterungsexponenten

Zusammenfassend kann ausgeführt werden, dass unter Verwendung der Weibullfunktion die Ausfallteilheit des Alterungsexponenten m stets größer 1 ist. Diese Funktion charakterisiert somit Ausfälle von verschleißbehafteten Bauteilen. Bei dem Vorliegen von exponentialverteilten Ausfällen besitzt die Ausfallteilheit immer den Wert $m=1$. Werden Werte $m < 1$ festgestellt, so werden hierdurch Frühausfälle wie beispielsweise Probleme bei Produktionsstörungen gekennzeichnet.

5.5 Ausfallfreie Zeit

Die Bauteile der Gebäudehülle, die hier weiter untersucht werden sollen, weisen auf der Grundlage von empirischen Erkenntnissen (u.a. [Balares et al., 2005,b]) Ausfallhäufigkeiten von Weibullfunktionen mit einer ausfallfreien Zeit t_0 aus.

Für die Ermittlung der ausfallfreien Zeit t_0 wird unterstellt, dass die Bauteile erst nach einer bestimmten Lebensdauer ausfallen. Zur Bestimmung von t_0 gibt es verschiedene Methoden. Eine mathematisch eindeutige Formel hierfür gibt es jedoch nicht. Grundsätzlich kann man bei der ausfallfreien Zeit t_0 sagen, dass sie zwischen null und dem Zeitpunkt des ersten Ausfalls für die zu analysierenden Bauteile mit dem gleichen Baujahr liegen muss. In der Regel reicht die ausfallfreie Zeit sehr nahe an den Zeitpunkt des ersten Ausfalles heran.

Eine Näherungsberechnung der ausfallfreien Zeit kann nach [Ronniger, 1999] erfolgen, indem t_0 für kleine Intervalle des Zeitraums zwischen Null und dem ersten Ausfall bestimmt wird. Dabei wird in jedem Intervall durch lineare Regression der Korrelationskoeffizient berechnet. Je besser dieser Wert des Korrelationskoeffizienten ist, desto genauer liegen die Werte auf einer sogenannten Ausgleichsgeraden. Folglich ist t_0 dann derjenige Wert, bei dem dieser am höchsten ist und sich somit die Ausgleichsgerade am besten approximieren lässt.

5.6 Vertrauensbereich

In Zuverlässigkeitsuntersuchungen zur Maschinendynamik nach [Weltin, 2005, S. 35ff.] werden bei Weibullanalysen für die Verteilungen der Ausfallwahrscheinlichkeit Vertrauensgrenzen bestimmt. Diese Vertrauensbereiche sind definiert als obere und untere Grenze. Im Rahmen dieser Untersuchung werden die unteren 5% der Ausfälle zu Beginn und die oberen Ausfälle über 95% ausgegrenzt. Bezogen auf die Gleichung 5-7 ist demnach die untere Grenze des Vertrauensbereichs mit der Ausfallwahrscheinlichkeit von $P = 0,05$ und analog die obere Grenze mit $P = 0,95$ festgelegt.

Im Hinblick auf die energetischen Sanierungen wird hier für die Berechnungen unterstellt, dass durch die Festlegung eines Vertrauensbereichs diejenigen Sanierungen an den Bauteilen des Wohngebäudebestands abgedeckt werden können, die innerhalb des regulären Zyklus vollzogen werden [Weltin, 2005, Meyer, 1994]. Außerhalb des Zyklus treten vor- oder nachgelagerte Sanierungen beispielsweise beim Verkauf von Wohngebäuden auf. Nähere empirische Befunde zu dieser Art der Sanierung liegen derzeit nicht vor.

In der Abbildung 5-3 sind beispielhaft für eine Weibull-Verteilung die Funktionen der Ausfallwahrscheinlichkeiten und der Ausfalldichte für eine Fassade über die Zeit dargestellt. Die ausfallfreie Zeit besitzt die Zeitspanne von $t=0$ bis $t=25$. Das Maximum der relativen Ausfallwahrscheinlichkeit beläuft sich auf 5,4 %. Dies entspricht zugleich einer Summenausfallwahrscheinlichkeit von 60 %. Die meisten Fassaden, nämlich 5,4 % des Bestands fallen im Alter von 47 Jahren aus. Bis zu diesem Zeitpunkt sind dann schon 60 % der Fassaden ausgefallen.

Der Alterungsexponent m hat entsprechend den Analysen zur Maschinendynamik nach [Weltin, 2005] und den empirischen Erkenntnissen des europäischen Projekts nach [Balares, 2005b, S. 523] für das Bauteil Fassade den Wert $m=7$. Hinsichtlich des Vertrauensbereichs kann ein Zeitraum von ungefähr 30 bis 60 Jahren abgelesen werden.

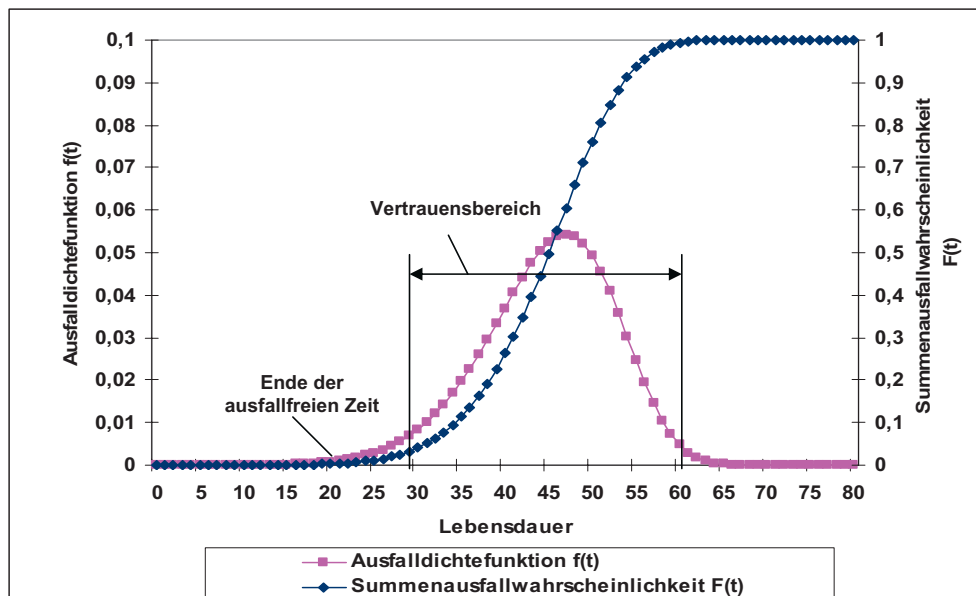


Abbildung 5-3: Ausfalldichtefunktion und Summenausfallwahrscheinlichkeit einer Fassade mit dem Baujahr 1960

5.7 Änderung von Nutzungsanforderungen

Neben der Modellierung von Alterungsprozessen kann die Dynamik in der Nutzungsphase der Wohngebäude auch durch zeitliche Änderungen der Nutzungsanforderungen beeinflusst werden. Diese Veränderungen der Nutzungsanforderungen können entweder in Kombination mit den Alterungsprozessen in Form von Bauprozessen oder unabhängig von der Alterung der Bauteile auftreten.

Aus wirtschaftlichen Erwägungen ist es sinnvoll, neue Nutzungsanforderungen im Zusammenhang mit Sanierungen aufgrund von technischen Alterungen der Bauteile zu realisieren. Dies stellt zugleich eine Verbindung zwischen der rein baulichen und der energetischen Sanierung her, denn das Erreichen der technischen Lebensdauer führt in diesem Fall nicht nur zur baulichen sondern auch zur energetischen Sanierung der betroffenen Bauteile.

Neben der Kombination des Alterungsprozesses und der geänderten Nutzungsanforderungen kann ein Bauprozess auch allein durch Abweichungen von bisherigen Nutzungen auftreten. Ein Beispiel stellt der Verkauf einer Wohnimmobilie dar, die zum Anlass genommen wird, unabhängig vom Stand der Alterung an den Bauteilen Sanierungsmaßnahmen zu realisieren.

6. Berechnung der Sanierungsparameter

6.1 Soll-Sanierungsrate

Die technische Lebensdauer eines Bauteils kann mit einer Weibullverteilung realitätsnah dargestellt werden. Unterstellt man, dass die Bauteile nach Ablauf der technischen Lebensdauer erneuert werden, dann kann man zum Beispiel die linke Darstellung in Abbildung 6-1 als ersten Renovierungszyklus für die Alterung auffassen, wenn das Teil zum Zeitpunkt $t=0$ gebaut wurde.

Da die erwarteten Nutzungsdauern von Wohngebäuden oft über 100 Jahre liegen, werden die Bauteile, deren technische Lebensdauern wesentlich kürzer sind als 100 Jahre, in der Praxis möglicherweise mehrfach renoviert. Abbildung 6-1 zeigt, wie dem ersten Renovierungszyklus mit einer Spreizung von 20 bis 65 Jahren ein zweiter Zyklus folgt. Die Streuung der Lebensdauer wird im zweiten Zyklus erheblich größer. Ein Bauteil, das im ersten Zyklus nach 20 Jahren erneuert wurde, kann im ungünstigen Fall auch im zweiten Zyklus schon nach 20 Jahren defekt sein, d.h. bezogen auf den Nullpunkt im 40. Jahr. Deshalb beginnt der zweite Zyklus bei 40 Jahren. Andererseits kann ein Bauteil, das im ersten Zyklus mit 65 Jahren erneuert wurde auch im zweiten Zyklus wieder 65 Jahre halten, so dass der zweite Zyklus nach 130 Jahren zu Ende ist. Damit verdoppelt sich die Spreizung von 45 Jahren im ersten Zyklus auf 90 Jahre im zweiten Zyklus. Allerdings werden auch im zweiten Zyklus die größten Häufigkeiten um den Mittelwert herum auftreten, der bei etwa 95 Jahren liegt. Bei dieser Betrachtung ist vorausgesetzt, dass die neuen Bauteile ein ähnliches Alterungsverhalten haben wie die alten Bauteile. Allgemein wurde in Untersuchungen von [Balaras, 2005b, S. 519ff.] festgestellt, dass neuere Bauteile aufgrund von komplexeren Systemen kürzere Lebensdauern aufweisen. So weisen beispielsweise in Deutschland Kunststofffenster der 80er Jahre geringere Lebensdauern als ältere Holzfenster auf [vgl. VFF, 2003].

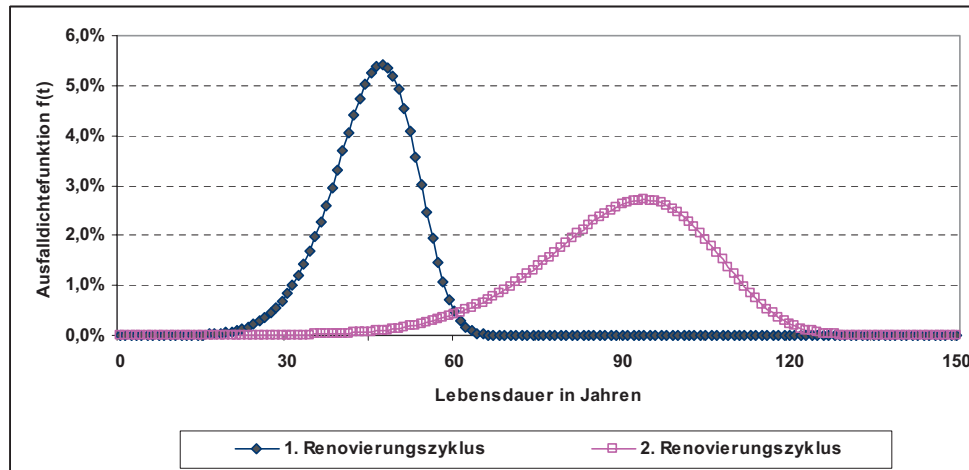


Abbildung 6-1: Zwei Renovierungszyklen einer Fassade aus der Baualtersklasse von 1945 bis 1960

Die Ausfallichtefunktion als Soll-Sanierungsrate

Die weibullverteilte, relative Häufigkeit in den Renovierungszyklen, die in Abbildung 6-1 dargestellt ist, wird im Folgenden in Bezug auf die Wohnfläche als Sollsanierungsrate pro Jahr bezeichnet. Sollsanierungsrate deshalb, weil das Bauteil am Ende seiner Lebensdauer erneuert werden sollte. Sie gibt zum Beispiel an, wie viele Quadratmeter Wohngebäudefläche aufgrund ihres Alters in einem bestimmten Jahr saniert werden sollten. Dabei ist die sanierte Fläche auf die gesamte Wohngebäudefläche bezogen. Die Sollsanierungsrate, die man auch als Sollerneuerungsrate bezeichnen könnte, dient als Referenz für die zu ermittelnde Sanierungsrate in der Realität, die als Istsanierungsrate bezeichnet wird.

Bei der Berechnung der Soll-Sanierungsrate für den gesamten Bestand eines Bauteils in einem bestimmten Jahr sind die Soll-Sanierungsraten verschiedener Baualtersklassen zu überlagern. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass sich für eine bestimmte Baualtersklasse je nach Parameterkonstellation die Perioden zweier aufeinanderfolgender Renovierungszyklen überschneiden können.

In der Abbildung 6-2 sind beispielhaft die jährlichen Soll-Sanierungsraten der Baualtersklassen 1945 bis 1960 und 1961 bis 1980 für das Bauteil Fassade dargestellt. Da die unterstellten Renovierungszyklen in beiden Baualtersklassen gleich sind, können in der Abbildung die Maxima der Soll-Sanierungsraten mit 5,5 % in der Baualtersklasse von 1945 bis 1960 nach 47 Jahren und in der Baualtersklasse von 1961 bis 1980 nach 63 Jahren

abgelesen werden. Die Verteilungen der Soll-Sanierungsraten sind auf der Zeitachse gemäß den Klassengrenzen 1945 und 1961 um 16 Jahre versetzt.

Die Überlagerung der beiden Baualtersklassen führt in einem beliebigen Sanierungsjahr zur Addition der einzelnen Sanierungsraten je Altersklasse. In der Abbildung 6-2 kann beispielsweise im Sanierungsjahr 2007 für die ältere Baualtersklasse eine Soll-Sanierungsrate von 0,7 %/a und für die jüngere eine Rate 5,4 %/ abgelesen werden. In der Summe wird im Sanierungsjahr für das Bauteil Fassade ein zu sanierender Anteil von 6,1 %/a ausgewiesen.

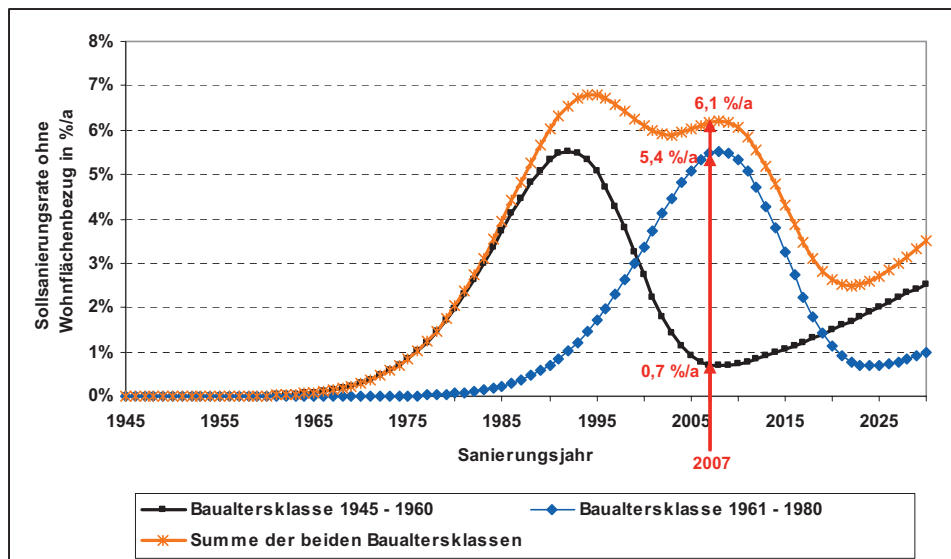


Abbildung 6-2: Jährliche Soll-Sanierungsraten ohne Wohnflächenbezug einer Fassade aus der Überlagerung von zwei Baualtersklassen

Die Berechnung der Soll-Sanierungsrate erfolgt am Beispiel des Bauteils u auf der Grundlage der Ausfalldichtefunktion $f(t_u)$ aus der Gleichung 5-6 multipliziert mit einem Wohnflächenquotienten. Durch diesen Quotienten, der den Wohnflächenbestand des Baujahrs in Beziehung zur gesamten Wohnfläche im Sanierungsjahr setzt, kann der Bezug zur Wohnfläche hergestellt werden (vgl. Gleichung 6-1).

Die Überschneidung der Renovierungszyklen wird durch die Addition der Anteile der einzelnen Renovierungszyklen für das jeweilige Baujahr berücksichtigt. Hierzu sind in Gleichung 6-2 für die einzelnen Renovierungszyklen die ausfallfreien Zeiten und die durchschnittlichen Lebensdauern zu bestimmen. Diese werden in der Formel für die Ausfalldichtefunktion $f(t)$ mit dem Faktor des Renovierungszyklus multipliziert. Folglich

können für die Soll-Sanierungsrate des Bauteils u und dem Baujahr k sowie einem beliebigen Sanierungsjahr t folgende Beziehungen formuliert werden:

$$SSR_{uk}(t) = \sum_{j=1}^o f_u(t)_j \cdot \left[\frac{WF_k(t)}{WF_{ges}(t)} \right]$$

$$SSR_{uk}(t) = \sum_{j=1}^o \left[\left(\frac{m}{j \cdot [t_{Lmu} - t_{0u}]} \right) \cdot \left(\frac{t - [j \cdot t_{0u}]}{t - [j \cdot t_{Lmu}]} \right)^{m-1} \cdot e^{-\left[\frac{t - (j \cdot t_{0u})}{j \cdot (t_{Lmu} - t_{0u})} \right]} \right] \cdot \frac{WF_k(t)}{WF_{ges}(t)}$$

$SSR_{uk}(t)$ = Soll-Sanierungsrate des Bauteils u für ein Baujahr k und ein beliebiges Sanierungsjahr t [%/a],

$f_u(t)$ = Ausfall dichtefunktion des Bauteils u für ein beliebiges Sanierungsjahr t [%/a],

$WF_k(t)$ = Wohnflächenbestand des Baujahrs k für ein beliebiges Sanierungsjahr t [m²],

$WF_{ges}(t)$ = gesamter Wohnflächenbestand im beliebigen Sanierungsjahr t [m²],

j = j – facher Renovierungszyklus mit $j = 1, \dots, o$ [-],

k = Baujahr k [-],

t_{Lmu} = mittlere technische Lebensdauer des Bauteils u [a],

t_{0u} = ausfallfreie Zeit des Bauteils u [a],

m = Alterungsexponent [-],

t = beliebiges Sanierungsjahr t [a].

Gleichungen 6-1 und 6-2: Berechnung der Soll-Sanierungsrate eines Bauteils und einem beliebigen Baujahr

In der nachfolgenden Tabelle 6-1 sind beispielhaft für das Baujahr 1961 in der Spalte 3 die unterstellten ausfallfreien Zeiten und in der Spalte 4 die mittleren Lebensdauern der Bauteile in Mitteleuropa für den ersten Renovierungszyklus ($j = 1$) aufgeführt.

Der Vergleich mit den Angaben zu den mittleren Lebensdauern von anderen Autoren führt zu der Erkenntnis, dass nur geringfügige Abweichungen für die hergeleiteten technischen Lebensdauern bestehen.

6.1 Soll-Sanierungsrate

Bauteil	Renovierungs- zyklus	Ausfallfreie Zeit	Mittlere technische Lebensdauer	Mittlere Lebensdauer nach Gruson in a	Mittlere Lebensdauer nach Balaras	Mittlere Lebensdauer nach Meyer
Fassade	1	25	53	45	55	50
Dach	1	23	48	45	45	45
Fenster	1	20	43	35	50	50
Keller	1	25	48	40	50	
Heizung	1	10	24	25		

Tabelle 6-1: Ausfallfreie Zeiten und mittlere Lebensdauern für die Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage in Mitteleuropa am Beispiel des Baujahrs 1919 und Vergleich der Lebensdauern

Unter Anwendung der Ausfalldichtefunktionen für die Bauteile und den Werten aus Tabelle 6-1 für $t_{L_{m_u}}$ ergeben sich für den ersten Renovierungszyklus der Bauteile des Baujahres 1961 die in Abbildung 6-3 dargestellten Weibullverteilungen für die Sollsanierungsrate. Zur Charakterisierung der Verteilungen wird in diesem Rechenbeispiel unterstellt, dass der Wohnflächenquotient gleich eins ist. Die Ausfallsteilheiten der Verteilungen werden mit dem Alterungsexponent m gekennzeichnet. Diese sind mit $m = 7$ außer bei dem Bauteil Keller mit $m=9$ festgelegt und entsprechen den realitätsnahen Ausfallerscheinungen. Die Sollsanierungsraten besitzen je nach Renovierungszyklus und Ausfallsteilheit unterschiedliche Maximalwerte. Für das Sanierungsjahr 2007 weisen die Bauteile in der Abbildung 6-2 Sollsanierungsraten von 3,9 %/a für die Fassaden, 4,9 %/a für die Fenster, 5,4 %/a für die Dächer und 6,7 %/a das Bauteil Keller aus. Da alle Heizungsanlagen gemäß dem 1. Renovierungszyklus bereits ausgetauscht worden sind, besitzt dieses Bauteil im Jahr 2007 die Rate von 0 %/a. Auf diese Art und Weise können für alle Sanierungsjahre die Sollsanierungsraten bestimmt werden.

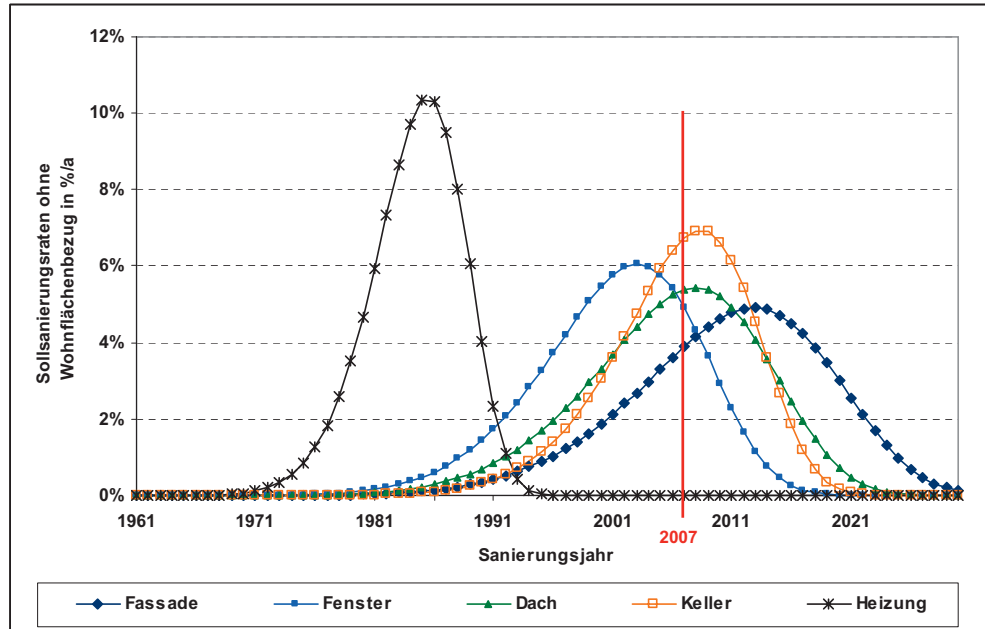


Abbildung 6-3: Sollsanierungsraten der Bauteile für den 1. Renovierungszyklus (Baujahr 1961)

6.2 Bestimmung der Soll-Sanierungsrate der Baualtersklassen für ein bestimmtes Bauteil und für ein bestimmtes Jahr

Die Soll-Sanierungsraten aus der Gleichung 6-1 können in einem weiteren Schritt für alle Baujahre des Wohngebäudebestandes und alle Sanierungsjahre über der Lebensdauer erstellt werden. Die Berechnung gliedert sich dabei in folgende Schritte:

1. Ausgehend von der Berechnung der Soll-Sanierungsrate SSR_{u_k} für ein Baujahr werden innerhalb einer Baualtersklasse l mit den Grenzen $[k_l = 1; k_l = n_l]$ die einzelnen Sollsanierungsraten der Baujahre aufaddiert.
2. Aufgrund der unterstellten, gleichmäßigen Verteilung der Wohnflächen innerhalb der Baualtersklassen wird in einem weiteren Verfahrensschritt über die Baujahre der jeweiligen Altersklasse das arithmetische Mittel gebildet.
3. Die gebäudetypische Unterscheidung der Soll-Sanierungsrate kann durch einen Wohnflächenfaktor, der aus dem Quotienten der Wohnfläche für die betrachtete Baualtersklasse $WF_{i_{k_l}}$ und der gesamten Wohnfläche $WF_{ges,i}$ des Gebäudetyps i gebildet werden kann, vorgenommen werden.

4. Durch die Multiplikation des arithmetischen Mittels mit dem Wohnflächenfaktor werden die Sollsanierungsraten je Baualtersklasse l gewichtet. Der Wohnflächenfaktor berücksichtigt dabei die Wohnflächenanteile der jeweiligen Baualtersklasse für ein bestimmtes Sanierungsjahr. Hierdurch können Änderungen des Wohnflächenbestands durch Abriss und Neubau bei der Berechnung berücksichtigt werden.

Dieser Berechnungsablauf erfolgt für alle Baualtersklassen analog, so dass zur Berechnung der Soll-Sanierungsrate für alle Baualtersklassen $l=1..r$ und eines Bauteils u in einem bestimmten Sanierungsjahr t_{SA} die funktionale Gleichung 6-3 hergeleitet werden kann.

$$SSR_{ul}(t_{SA}) = \left[\sum_{i=1}^p \frac{WF_{ik_l}(t_{SA})}{WF_{i_{ges}}(t_{SA})} \right] \cdot \frac{1}{n_l} \cdot \sum_{k_l=1}^{n_l} \left[\sum_{j=1}^o (f_u(t_{SA}))_j \right]_{k_l} \quad [\%/a]$$

$SSR_{ul}(t_{SA})$ = Soll-Sanierungsrate des Bauteils u für eine Baualtersklasse $l=1,...,r$ [%/a],

t_{SA} = bestimmtes Sanierungsjahr [a],

j = j - facher Renovierungszyklus mit $j=1,..., o$ [-],

k_l = Baujahr k der Baualtersklasse l mit $l=1, ..., r$ und $k_l=1_l, ..., n_l$ [-],

i = Gebäudetyp i mit $i=1, ..., P$ [-],

$WF_{ik_l}(t_{SA})$ = Wohnfläche des Gebäudetyps i der Klasse l und Baujahr k_l in t_{SA} [m^2],

$WF_{i_{ges}}(t_{SA})$ = Gesamtwohnfläche des Gebäudetyps i in t_{SA} [m^2].

Gleichung 6-3: Berechnung der Soll-Sanierungsrate eines Bauteils für alle Baualtersklassen

Tabelle 6-2 zeigt ein Rechenbeispiel für das Bauteil "Fassade" aus Deutschland für die Baualtersklasse von 1919 bis 1944. Die Spalten 2 und 3 enthalten die Zeitperioden der Altersklasse. Aus den Zahlen erkennt man, dass das Referenzjahr 2001 im ersten und zweiten Zyklus enthalten ist. Die Spreizung in der folgenden Spalte vergrößert sich mit jedem Zyklus. Die letzte Spalte schließlich enthält die berechneten Sollsanierungsraten. Die Summe der Werte 0,061 %/a und 0,086 %/a ergibt im Jahr 2001 eine Soll-Sanierungsrate von rund 0,147 %/a.

6.2 Bestimmung der Soll-Sanierungsrate der Baualtersklassen für ein bestimmtes Bauteil

Bauteil	Min.	Max.	Spreizung der Häufigkeitsverteilung	Anteil am Bestand	Soll-Sanierungsrate im Jahr 2001
Bauteil Fassade		in a			in % / a
Techn. Lebensdauer	30	60	30		
Baualter (1919 bis 1944)	1919	1944	29	0,37*	
1. Zyklus (Baualter + techn. Lebensdauer)	1949	2004	55		0,086
2. Zyklus (1. Zyklus + techn. Lebensdauer)	1979	2064	85		0,061
Sollsanierungsrate für die Baualtersklasse von 1919 bis 1944 im Jahr 2001					0,147
Wohnfläche der Altersklasse 1919 bis 1944 dividiert durch die gesamte Wohngebäudefläche des Bestands und (bei gleichverteilter Wohnfläche) geteilt durch die Spreizung von 29 Jahren					

Tabelle 6-2: Soll-Sanierungsrate 2001 für eine Fassade in Deutschland, Baualtersklasse 1961 bis 1980

Die Rechnung, die in der vorangehenden Tabelle 6-2 für eine Baualtersklasse dargestellt ist, wird für alle Baualtersklassen durchgeführt. Das Ergebnis ist in der folgenden Tabelle 6-3 zusammengefasst.

Insgesamt liefern vier Baualtersklassen einen Beitrag zur Sollsanierungsrate. Bei den ersten beiden Baualtersklassen tritt die oben erwähnte Überschneidung aufeinanderfolgender Zyklen auf. Dies ist an den Spalten Zyklusbeginn und Zyklusende abzulesen. Die beiden ersten Baualtersklassen befinden sich 2001 aufgrund ihres hohen Alters im zweiten und dritten Renovierungszyklus, während die dritte Altersklasse sich 2001 im ersten und zweiten Zyklus befindet. Die jüngeren Baualtersklassen durchlaufen bis 2001 nur den ersten Zyklus. Die Beiträge dieser drei Klassen zur gesamten Sollsanierungsrate sind am höchsten, weil sie einen sehr hohen Anteil am Bestand haben (Nachkriegsbauten) und weil der erste Zyklus noch weniger gespreizt ist als die folgenden Zyklen. Die Sollsanierungsrate für den gesamten Bestand in der letzten Zeile von Tabelle 6-3 ist die Summe der einzelnen Sollsanierungsraten der Bauteile pro Jahr.

6.2 Bestimmung der Soll-Sanierungsrate der Baualtersklassen für ein bestimmtes Bauteil

Bauteil Fassade	Code	Zyklus	Zyklus- beginn	Zyklus- ende	Ausfalldichte 2001		Soll-Sanierungsrate 2001		Wohnfläche in Deutschland 2001	
					in % /a				in Mio. m ²	
			Min.	Max.		Summe		Summe	Bestand	Sanierung
bis 1918	A	2.	1935	2038	1,84		0,319			10,29
bis 1918	A	3.	1965	2098	0,709		0,123			3,97
bis 1918	A	4.	1995	2158	0,113		0,019			0,61
bis 1918	A					2,662		0,461	558,96	14,87
1919 bis 1944	B	1.	1949	2004	0,804		0,086			2,77
1919 bis 1944	B	2.	1979	2064	0,564		0,061			1,97
1919 bis 1944	B					1,368		0,147	346,58	4,74
1945 bis 1960	C	1.	1975	2020	4,339		1,201			38,73
1945 bis 1960	C					4,339		1,201	892,37	38,73
1961 bis 1980	D	1.	1991	2040	1,299		0,270			8,71
1961 bis 1980	D					1,299		0,270	669,97	8,71
insgesamt						9,668		2,079	3224,90	67,05

Tabelle 6-3: Soll-Sanierungsraten der Renovierungszyklen der einzelnen Baualtersklassen für das Bauteil Fassade am Beispiel des deutschen Wohngebäudebestands im Sanierungsjahr 2001

Für den Sanierungszeitraum von 1991 bis 2001 können so beispielsweise die Anteile der einzelnen Baualterklassen für die jeweiligen Sanierungsjahre ausgewiesen werden. In der Abbildung 6-4 sind beispielhaft die Sollsanierungsraten der Altersklassen für eine Fassade des deutschen Wohnflächenbestands dargestellt. In diesem betrachteten Sanierungszeitraum können von vier Baualtersklassen Beiträge zur Soll-Sanierungsrate für die Fassade erwartet werden. In den jüngeren Baualtersklassen finden im Sanierungszeitraum noch keine Sanierungen an Fassaden statt. Die Addition dieser Baualtersklassen je Sanierungsjahr führt zur Summenkurve. Entsprechend der Überschneidung und Spreizung der Renovierungszyklen ergibt sich für die Baualterklasse 1945 bis 1960 mit 1,29 % im Jahr 1998 der größte anteilige Wert für die Sollsanierungsraten. Der niedrigste Wert kann mit 0,05 % in der Baualterklasse 1961 bis 1980 im Jahr 1991 bestimmt werden.

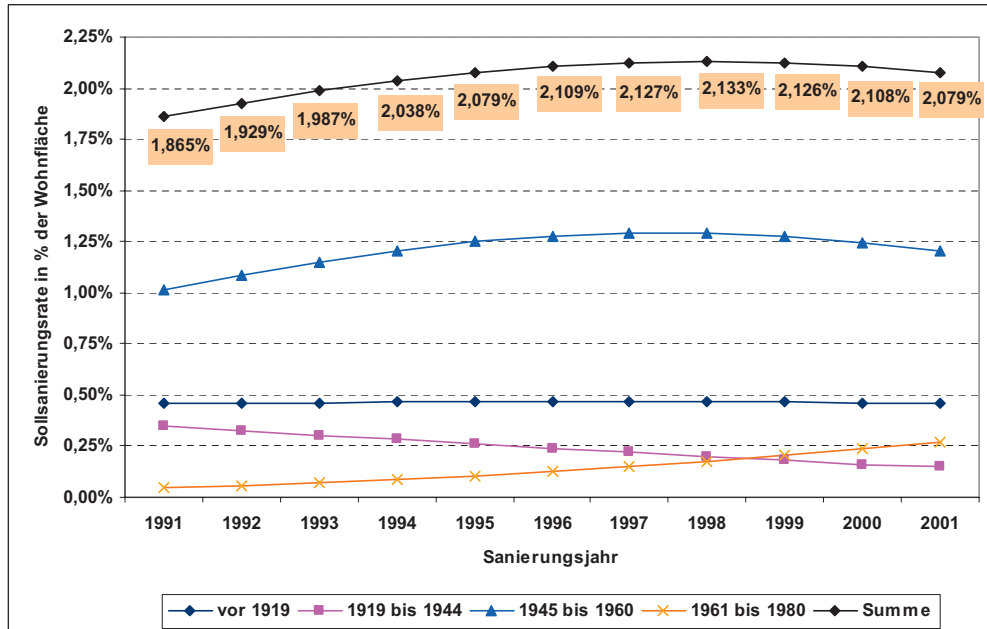


Abbildung 6-4: Jährliche Soll-Sanierungsraten der Baualtersklassen im Zeitraum von 1991 bis 2001 für den Fassadenbestand in Deutschland

6.3 Bestimmung der Gesamt-Soll-Sanierungsrate für alle Altersklassen und alle Bauteile

Werden für die Bauteile der Gebäudehülle die Produkte der bauteilspezifischen Soll-Sanierungsraten und der zugehörigen Wohnflächen über alle Baualtersklassen summiert und durch die Anzahl der Bauteile dividiert, so erhält man nach der Gleichung 6-4 für das betreffende Sanierungsjahr die zugehörige Gesamt-Soll-Sanierungsrate.

$$SSR_{ges}(t_{SA}) = \frac{1}{u} \sum_{u=1}^w \left[\sum_{l=1}^r \{ SSR_{ul} \cdot WF_l \} \right] \quad [\%/a]$$

$SSR_{ges}(t_{SA})$ = Gesamt-Soll-Sanierungsrate der Gebäudehülle [%/a],

$WF_l(t_{SA})$ = Wohnfläche der Baualtersklasse l im Sanierungsjahr t_{SA} [m^2],

u = Bauteile $u = 1, \dots, w$ [-].

Gleichung 6-4: Berechnung der Gesamt-Soll-Sanierungsrate

6.3 Bestimmung der Gesamt-Soll-Sanierungsrate für alle Altersklassen und Bauteile

Die Sollsanierungsrate hängt für den Bestand in einem bestimmten Jahr nur von der Höhe und der Spreizung der technischen Lebensdauer ab. Da Letztere sich für die einzelnen Bauteile unterscheidet, sind die Sollsanierungsraten der Bauteile unterschiedlich. Die folgende Tabelle 6-4 zeigt beispielhaft die Gesamtsollsanierungsrate für alle Bauteile im Sanierungszeitraum von 1991 bis 2001 in Deutschland. Der Mittelwert in der letzten Spalte, der durch die Summierung der Sollsanierungsraten der einzelnen Bauteile und die anschließende Division durch die Anzahl der Bauteile ermittelt werden kann, weist den prozentualen Anteil der jährlich zu sanierende Wohnfläche aus.

Ein Vergleich der jährlichen Werte zeigt, dass durch die dynamischen Prozesse der Alterung in den jeweiligen Renovierungszyklen und zugehörigen Baualtersklassen verschiedene Sollsanierungsraten der Bauteile berechnet werden. Die größten Soll-Sanierungsraten weist im untersuchten Zeitraum das Bauteil Fenster auf. Zugleich besitzen die Fenster die größte Änderung der jährlichen Sollsanierungsraten.

Sanierungsjahr	Soll-Sanierungsraten				
	Fassade	Fenster	Dach in % / a	Keller	Mittel
1991	1,87	2,63	2,35	2,44	2,32
1992	1,93	2,57	2,37	2,45	2,33
1993	1,99	2,51	2,38	2,45	2,33
1994	2,04	2,45	2,37	2,42	2,32
1995	2,08	2,39	2,34	2,37	2,29
1996	2,11	2,32	2,31	2,31	2,26
1997	2,13	2,27	2,26	2,25	2,23
1998	2,13	2,21	2,21	2,18	2,18
1999	2,13	2,16	2,16	2,11	2,14
2000	2,11	2,12	2,10	2,04	2,09
2001	2,08	2,08	2,04	1,98	2,05

Tabelle 6-4: Soll-Sanierungsraten für alle Bauteile der Gebäudehülle von 1991 bis 2001 im deutschen Wohngebäudebestand

Die Soll-Sanierungsrate gibt einen Hinweis darauf, wie viele Sanierungen aufgrund der Lebensdauer pro Sanierungsjahr durchgeführt werden sollten, um weitere Schäden an den Gebäuden zu verhindern. Da bauliche und energetische Sanierung aus Kostengründen in der Regel gleichzeitig durchgeführt werden, ist die hier definierte Soll-Sanierungsrate eine "energetische Sollsanierungsrate".

Die Gesamt-Soll-Sanierungsrate gibt gleichzeitig das Sanierungspotenzial an. Der Wert von 2,05 % für das Jahr 2001 für die Vollsanierung der Gebäudehülle in Deutschland entspricht einer jährlich zu sanierenden Gebäudefläche, von rund 66 Mio. m². Das sind rund 750.000 Wohnungen.

6.4 Soll-Energieeinsparung

Die Berechnung der gesamten Soll-Energieeinsparung ist abhängig von der Sollsanierungsrate, dem durch die Verordnung vorgegebene flächenspezifischen Einsparniveau und der Wohnfläche des Gebäudebestands. Diese Größe kann analog der Soll-Sanierungsrate in Bezug auf ein Sanierungsjahr für ein bestimmtes Bauteil und einem beliebigen Baujahr sowie für alle Baualtersklassen bestimmt werden. Die Gesamt-Soll-Energieeinsparungen können für alle Baualtersklassen und Bauteile hergeleitet werden. Die Soll-Energieeinsparung ist ein hypothetischer Wert, für dessen Bestimmung eine vollständige Sanierung entsprechend der Sollsanierungsrate vorausgesetzt wird.

6.4.1 Bestimmung der Soll-Energieeinsparung exemplarisch für ein bestimmtes Bauteil und ein bestimmtes Baujahr

Für ein ausgewähltes Bauteil und beliebiges Baujahr des Wohngebäudebestands kann die Soll-Energieeinsparung im Sanierungsjahr t_{SA} bestimmt werden. Die Berechnung dieser Größe erfolgt durch die Berücksichtigung der Ausfalldichtefunktionen des Bauteils u , der Wohnfläche des Bestands im Baujahr k und der zugehörigen bauteilspezifischen Energieeinsparung EE_u . Dabei werden die Ausfalldichtefunktionen der zu berücksichtigenden Renovierungszyklen für das betreffende Bauteil entsprechend der Gleichung 6-1 summiert. Diese Summe legt die Soll-Sanierungsrate im Sanierungsjahr fest und dient durch die multiplikative Verknüpfung mit der Wohnfläche aus dem Baujahr zur Festlegung der Sanierungsfläche. Das Produkt der Sanierungsfläche und der flächenspezifischen Energieeinsparung durch die energetische Sanierung des Bauteils führt zur Bestimmung der Soll-Energieeinsparung nach Gleichung 6-5.

$$SEE_{u_k}(t_{SA}) = \left[\left(\sum_{j=1}^o f_u(t_{SA})_j \cdot WF_k(t_{SA}) \right) \cdot EE_u(t_{SA}) \right]_u \quad [\text{Wh/a}]$$

6.4.1 Bestimmung der Soll-Energieeinsparung für ein bestimmtes Bauteil und Baujahr

$SEE_{uk}(t_{SA})$ = Soll-Energieeinsparung des Bauteils u im Baujahr k [Wh/a],

$f_u(t_{SA})$ = Ausfalldichtefunktion des Bauteils u für ein beliebiges Sanierungsjahr t_{SA} [%/a],

$WF_k(t_{SA})$ = Wohnflächenbestand im Baujahr k [m²],

$EE_u(t_{SA})$ = Flächenspezifische Energieeinsparung durch energetische Sanierung des Bauteils u im Sanierungsjahr t_{SA} [kWh/(m² a)],

j = j -facher Renovierungszyklus mit $j=1,..., 0$ [-],

k = Baujahr k [-],

u = Bauteil u [-].

Gleichung 6-5: Berechnung der Soll-Energieeinsparung für ein bestimmtes Bauteil

Exemplarisch am Beispiel des Fassadenbestands des Baujahrs 1961 in Deutschland sind in der nachfolgenden Abbildung 6-5 die jährlichen gesamten Soll-Energieeinsparungen im Zeitraum von 1991 bis 2001 abgebildet. Aufgrund der verschärften Anforderungen ab 1995 mit der 3. Wärmeschutzverordnung steigen die Soll-Energieeinsparungen von 1994 auf 1995 deutlich an. Zudem vergrößern sich die Einsparpotenziale, weil sich der Fassadenbestand aus 1961 zunehmend im Renovierungszyklus befindet.

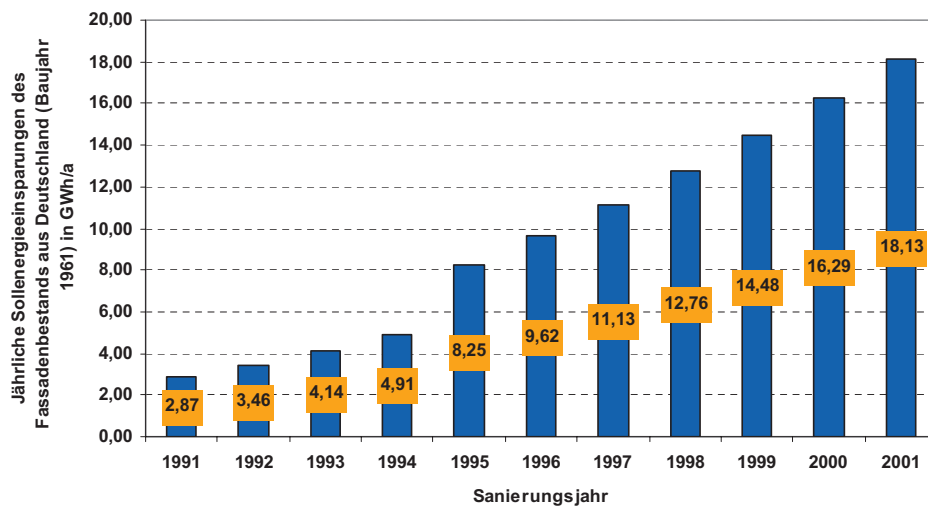


Abbildung 6-5: Jährliche gesamte Soll-Energieeinsparungen durch energetische Sanierungen des Fassadenbestands aus dem Baujahr 1961 im Zeitraum von 1991 bis 2001 (am Beispiel von Deutschland)

6.4.2 Berechnung der Soll-Energieeinsparungen über die Altersklassen für ein bestimmtes Bauteil

Die Berechnung der Soll-Energieeinsparungen $SEE_{ul}(t_{SA})$ über die Baualtersklassen für ein bestimmtes Bauteil kann durch die Summierung der Soll-Energieeinsparungen der einzelnen Baujahre $SEE_{uk}(t_{SA})$ für die jeweilige Altersklasse gemäß der Gleichung 6-5 durchgeführt werden. Innerhalb der Grenzen der Baualtersklassen werden dabei die Sollsanierungsraten der Baujahre in Analogie zu den Verfahrensschritten in Kapitel 6.4.1 bestimmt und mit den zugehörigen Wohnflächen multipliziert. Die weitere multiplikative Verknüpfung mit der flächenspezifischen Energieeinsparung führt für die Soll-Energieeinsparung einer beliebigen Baualtersklasse und einem bestimmten Bauteil zur Gleichung 6-6.

$$SEE_{ul}(t_{SA}) = \left[\sum_{i=1}^p \frac{WF_{ik_l}(t_{SA})}{WF_{i_{ges}}(t_{SA})} \right] \cdot \frac{1}{n_l} \cdot \sum_{k_l=1}^{n_l} \left(\sum_{j=1}^o (f_u(t_{SA}))_j \cdot WF_{k_l}(t_{SA}) \right) \cdot EE_u(t_{SA})$$

$SEE_{ul}(t_{SA})$ = Soll-Energieeinsparung des Bauteils u für eine Baualtersklasse l im Sanierungsjahr t_{SA} [Wh/a],

$WF_{ik_l}(t_{SA})$ = Wohnfläche des Gebäudetyps i der Klasse l und Baujahr k_l in t_{SA} [m^2],

$WF_{i_{ges}}(t_{SA})$ = Gesamtwohnfläche des Gebäudetyps i in t_{SA} [m^2],

$f_u(t_{SA})$ = Ausfalldichte im Sanierungsjahr t_{SA} [-],

$WF_{k_l}(t_{SA})$ = Wohnfläche im Baujahr k der Baualtersklasse l [m^2],

$EE_u(t_{SA})$ = Flächenspezifische Energieeinsparung durch energetische Sanierung des Bauteils u im Sanierungsjahr t_{SA} [$kWh/(m^2 \cdot a)$],

k_l = Baujahr k der Baualtersklasse l mit $l=1, \dots, r$ und $k_l=1_l, \dots, n_l$ [-],

i = Gebäudetyp i mit $i=1, \dots, p$ [-].

Gleichung 6-6: Berechnung der Soll-Energieeinsparung für ein bestimmtes Bauteil über einer Baualtersklasse

In der nachfolgenden Abbildung 6-6 sind für die Baualtersklasse 1991 bis 2001 die Soll-Einsparpotenziale durch energetische Sanierung der Fassaden je Sanierungsjahr und Baualtersklasse aufgeführt. Die Baualtersklassen nach 1980 besitzen für diese Sanierungsjahre keine Beiträge für die Einsparpotenziale, da hier noch keine

Fassadenflächen zu sanieren sind. Die größten Werte für die Potenziale werden in der Altersklasse 1945 bis 1960 ausgewiesen.

Soll-Energieeinsparungen auf europäischer Ebene

Werden beispielsweise für das Bauteil Fassade die nationalen flächenspezifischen Soll-Energieeinsparungen in der Baualtersklasse 1946 bis 1960 im Sanierungsjahr 2001 ermittelt, so können gemäß der Abbildung 6-7 die Einsparungen bestimmt werden. Die größten Soll-Energieeinsparungen können durch die Fassadensanierungen in der Altersklasse 1946 bis 1960 in Irland erzielt werden. Die geringsten Einsparungen lassen sich nach dieser Berechnung mit Ausnahme von Schweden, wo bereits ein guter energetischer Ausgangszustand im Bestand erreicht wurde, in den südeuropäischen Ländern mit grundsätzlich geringerem Raumwärmeverbrauch erschließen.

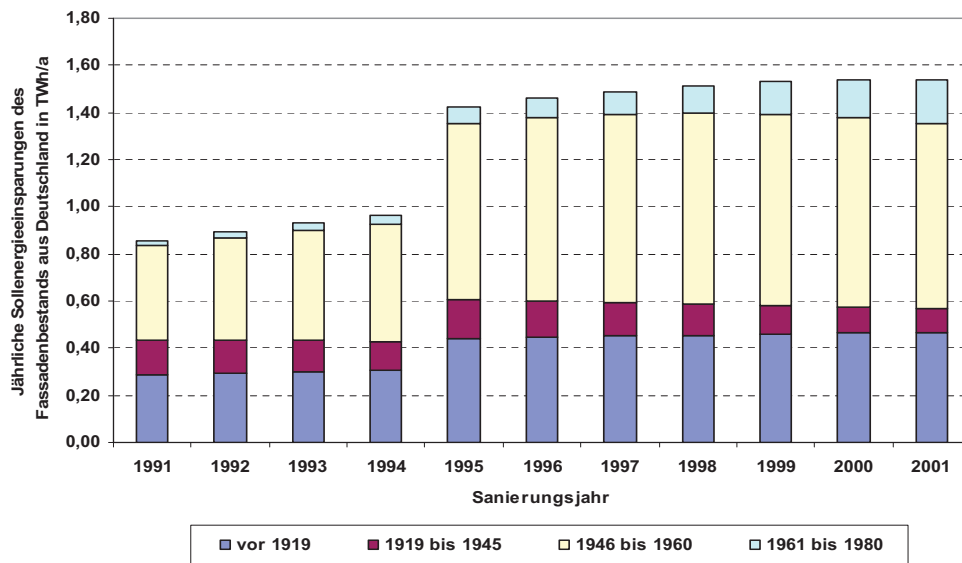


Abbildung 6-6: Jährliche Soll-Energieeinsparungen in TWh/a für den deutschen Fassadenbestand im Sanierungszeitraum 1991 bis 2001 gegliedert nach Baualtersklassen

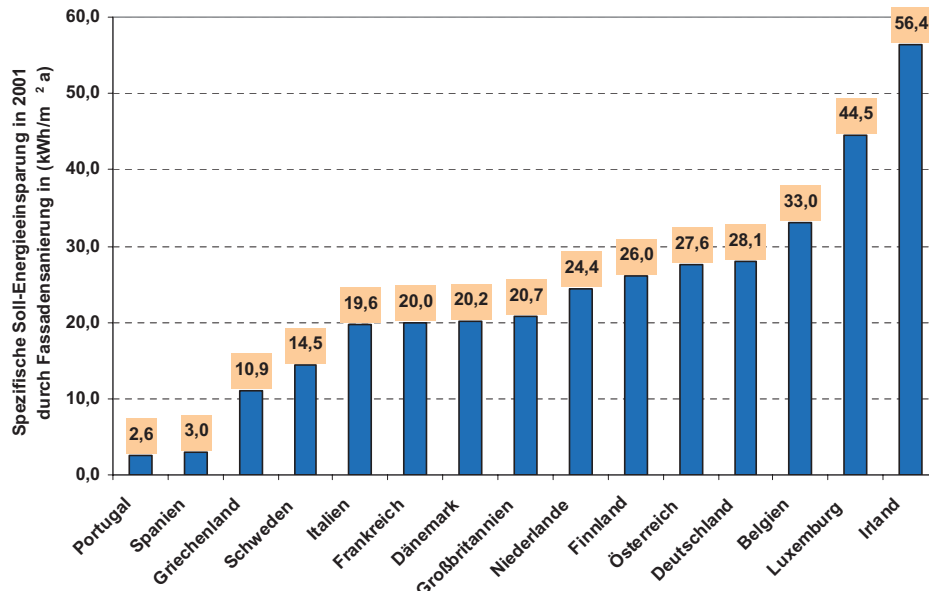


Abbildung 6-7: Nationale spezifische Soll-Energieeinsparungen in kWh/(m²a) für das Bauteil Fassade in der Baualtersklasse 1946 bis 1960 im Sanierungsjahr 2001

6.4.3 Ermittlung der Gesamt-Soll-Energieeinsparungen für alle Altersklassen und Bauteile

Durch die Addition der Soll-Energieeinsparungen der einzelnen Baualtersklassen und Bauteile kann die Gesamt-Soll-Energieeinsparung nach der Gleichung 6-7 bestimmt werden. Da von Vollsanierungsäquivalenten in dieser Arbeit ausgegangen wird, die sowohl die Bauteile der Gebäudehülle als auch den Heizkessel berücksichtigen, beschreibt diese Größe das gesamte Energieeinsparpotenzial durch energetische Sanierungen im Sanierungsjahr t_{SA} unter der Beachtung der nationalen Anforderungen an die Bauteile. Unter Vollsanierung wird die Dämmung aller Bauteile der Gebäudehülle, einschließlich Fenstererneuerung, und die Erneuerung der Heizungsanlage verstanden. In der Praxis werden aber nicht nur Vollsanierungen durchgeführt. Häufig werden nur einzelne Bauteile oder nur die Heizung erneuert. Da die Energieeinsparungen sich im Bestand additiv verhalten, können Einzelteilsanierungen im Bestand zu Vollsanierungen, hier Vollsanierungsäquivalente genannt, zusammengefasst werden.

6.4.3 Ermittlung der Gesamt-Soll-Energieeinsparungen für alle Altersklassen und Bauteile

$$SEE_{ges}(t_{SA}) = \sum_{u=1}^{w+1} \left\{ \sum_{l=1}^r [SSR_{ul}(t_{SA}) \cdot WF_l(t_{SA}) \cdot EE_{ul}(t_{SA})] \right\}_u$$

$SEE_{ges}(t_{SA})$ = Gesamt-Soll-Energieeinsparung der Gebäudehülle und Heizungsanlage im Sanierungsjahr t_{SA} [Wh/a],

$SSR_{ul}(t_{SA})$ = Sollsanierrate des Bauteils u für eine Baualtersklasse $l=1,...,r$ [%/a],

$WF_l(t_{SA})$ = Wohnfläche der Baualtersklasse l in t_{SA} [m²],

$EE_{ul}(t_{SA})$ = Flächenspezifische Energieeinsparung durch energetische Sanierung des Bauteils u in der Baualtersklasse l in t_{SA} [kWh/(m² a)],

u = Bauteil u der Gebäudehülle mit $u=1,...,w$ und der Heizungsanlage mit $w+1$.

Gleichung 6-7: Bestimmung der Gesamt-Soll-Energieeinsparung

In der Abbildung 6-8 sind die Gesamt-Soll-Energieeinsparungen des Sanierungszeitraums von 1991 bis 2001 am Beispiel von Deutschland dargestellt. Die jährlichen Einsparungen bewegen sich zwischen 4,6 TWh im Jahr 1991 und 6,5 TWh im Jahr 2001. Der Anstieg der Gesamt-Soll-Energieeinsparungen von 1994 auf 1995 hängt mit der Steigerung der Anforderungsniveaus der Energiestandards von der Zweiten zur Dritten Wärmeschutzverordnung zusammen.

Bezogen auf das Sanierungsjahr 2001 hat die Gesamt-Soll-Energieeinsparung von Deutschland einen Anteil am gesamten Raumwärmeeinsparpotenzial innerhalb der EU-15 von 27 %. Mehr als drei Viertel des gesamten Einsparpotenzials verteilt sich aufgrund der Größe der Wohnflächenbestände auf die Länder Deutschland, Frankreich, Italien und Großbritannien. In der Tabelle 6-5 sind die nationalen Gesamt-Soll-Energieeinsparungen, differenziert nach den Bauteilen der Gebäudehülle und der Heizungsanlage, aufgelistet.

6.4.3 Ermittlung der Gesamt-Soll-Energieeinsparungen für alle Altersklassen und Bauteile

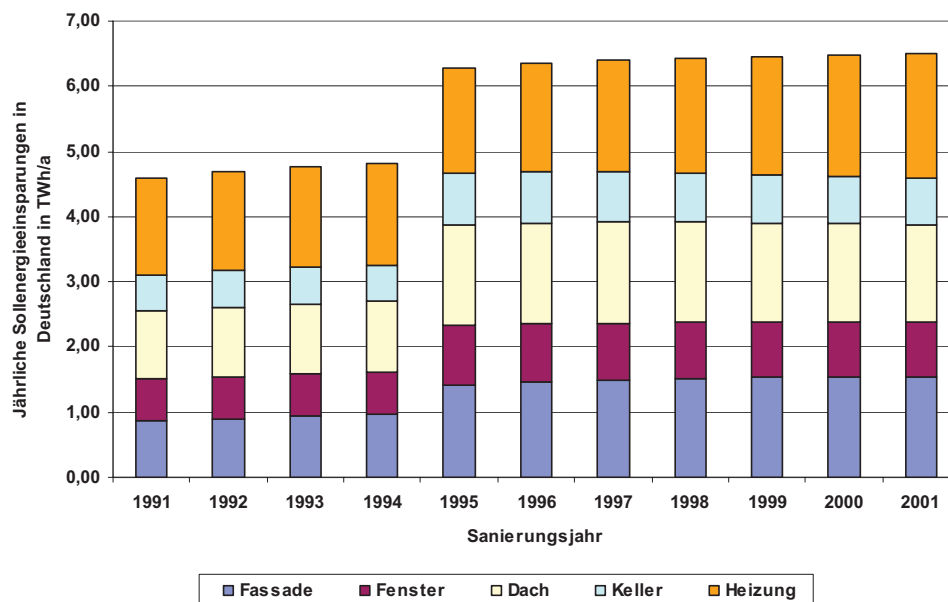


Abbildung 6-8: Gesamt-Soll-Energieeinsparungen der Bauteile im Zeitraum von 1991 bis 2001 in Deutschland

In der Tabelle 6-5 sind analog die Gesamt-Soll-Energieeinsparungen der Bauteile für das Jahr 2001 für die einzelnen Länder aufgelistet.

	Gesamt-Soll-Energieeinsparungen 2001					
	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Summe - 2001
Mitgliedsstaat	in TWh / a					
Belgien	0,23	0,13	0,23	0,12	0,35	1,06
Dänemark	0,11	0,04	0,11	0,07	0,01	0,34
Deutschland	1,55	0,84	1,47	0,72	1,91	6,50
Finnland	0,07	0,05	0,08	0,05	0,05	0,30
Frankreich	1,01	0,40	0,91	0,53	1,76	4,61
Griechenland	0,08	0,07	0,09	0,06	0,23	0,52
Großbritannien	0,65	0,42	0,75	0,44	1,17	3,44
Irland	0,06	0,02	0,03	0,03	0,10	0,23
Italien	1,17	0,24	0,68	0,45	1,17	3,71
Luxemburg	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,06
Niederlande	0,26	0,17	0,14	0,07	0,22	0,86
Österreich	0,12	0,09	0,12	0,07	0,27	0,67
Portugal	0,02	0,02	0,02	0,01	0,04	0,11
Spanien	0,11	0,15	0,10	0,07	0,39	0,83
Schweden	0,13	0,09	0,13	0,09	0,15	0,60
EU - 15	5,57	2,74	4,88	2,80	7,86	23,85

Tabelle 6-5: Nationale Gesamt-Soll-Energieeinsparungen der Bauteile in 2001

6.5 Ist-Sanierungsrate

Als weiterer wichtiger Parameter zur Charakterisierung der Sanierungsqualität wird die energetische Ist-Sanierungsrate definiert. Sie ist für den Zeitpunkt t definiert durch das Verhältnis der in der Realität sanierten Wohnflächen bezogen auf die Gesamtwohnfläche des Gebäudebestands. Bei der sanierten Wohnfläche werden Vollsanierungsäquivalente unterstellt.

$$ISR(t_{SA}) = \left[\frac{WF_{san}(t_{SA})}{WF_{ges}(t_{SA})} \right] [\%/a].$$

$ISR(t_{SA})$ = Ist-Sanierungsrate im Sanierungsjahr t_{SA} [%/a],

$WF_{san}(t_{SA})$ = Sanierte Wohnfläche im Sanierungsjahr t_{SA} [m^2],

$WF_{ges}(t_{SA})$ = Gesamte Wohnfläche im Sanierungsjahr t_{SA} [m^2].

Gleichung 6-8: Definition der Ist-Sanierungsrate

Für die Durchführung von Sanierungen sind einerseits neben den technischen Begründungen der Lebensdauer auch wirtschaftliche Aspekte zu beachten und andererseits werden Veränderungen an den Bauteilen häufig mit einer Sanierung an der Gebäudehülle kombiniert. Wird der Sanierung ein geringerer Stellenwert eingeräumt, so kann auch das Ausbleiben von notwendigen Sanierungen festgestellt werden. Förderprogramme oder der Verkauf einer Wohnimmobilie können auch zu Sanierungen der Bauteile unabhängig vom Alterungsprozess führen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Einflüsse auf das Sanierungsverhalten sehr vielfältig sein können und somit Abweichungen vom Idealfall die Regel sind.

Empirische Ist-Sanierungsraten für Deutschland

In der Studie [Heinze, 2002] werden rund 10.000 Eigentümer, Vermieter und Mieter über die Modernisierungsaktivitäten im Jahr 2001 befragt. Die Befragung umfasst u. a. die Bauteile Fassade, Dach, Fenster, Wärmedämmung und Heizung für Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH) sowie für Mehrfamilienhäuser (MFH). Aus der Darstellung der Befragungsergebnisse lässt sich direkt ausrechnen, dass nur 34 % der Modernisierer, die eine größere Modernisierungsmaßnahme an der Außenwand durchführen, dort auch eine Wärmedämmung anbringen. Beim Dach (Steil- und Flachdach) beträgt dieser Anteil 42 %. In Bezug auf die Anzahl der Wärmedämmungen könnte also in der Praxis 2,5 mal mehr getan werden. Über die Qualität der Wärmedämmung ist in der Studie keine Aussage gemacht worden. Für die folgenden Untersuchungen werden die von Heinze Marktforschung 2002 auf

6.5 Ist-Sanierungsrate

die Anzahl der Modernisierer bezogenen Ergebnisse auf die Gebäudefläche umgerechnet. Daraus wird dann die energetische Ist-Sanierungsrate berechnet.

Aus den Umfrageergebnissen der Modernisierungsstudie von [Heinze, 2002] ergeben sich durch Umrechnung die in Spalte 5 von Tabelle 6-6 zusammengestellten Istsanierungsraten für die Bauteile. Für die Vollsanierung einer Gebäudehülle ergibt sich ein Wert von 1,21 %/a.

Bauteil	Lebensdauer		Soll-Sanierungsrate	Ist-Sanierungsrate	Verhältnis Ist/Soll (Heinze 2002)	Verhältnis Ist/Soll (Kleemann et al. 2001)
	Min.	Max.	%/a	%/a	%	%
Fassaden	30	60	1,91	0,80	42	
Steildach	40	60	1,70	0,64	37	
Flachdach	20	40	2,99	0,53	18	
Fenster	25	40	2,57	2,20	86	
Isolierverglasung	20	35	3,67	2,54	69	
alle Maßnahmen (Hülle)			2,57*	1,21*	52	56
Heizung	12	35	3,95	3,08	78	

Tabelle 6-6: Soll- und Ist-Sanierungsraten für alle Bauteile der Gebäudehülle von 1991 bis 2001 im deutschen Wohngebäudebestand (* Mittelwert)

6.6 Ist-Energieeinsparung

Mit der berechneten Ist-Energieeinsparung wird eine Überprüfung des Wohngebäudebestands nach den in der Realität durch energetische Sanierungen erzielten Reduzierungen des Energieverbrauchs vorgenommen. Dieser Vergleich charakterisiert die Qualität einer durchgeführten Sanierung. Die Sanierungsgröße ist definiert durch das Produkt der flächenspezifischen Energieeinsparung $EE(t_{SA})$ nach den unterstellten Energiestandards und der tatsächlich sanierten Wohnfläche $WF_s(t_{SA})$ im Sanierungsjahr t_{SA} .

$$IEE(t_{SA}) = \sum_{i=1}^p \left\{ \sum_{l=1}^r \left[\sum_{u=1}^{w+1} (EE_{l,i}(t_{SA}))_u \cdot WF_{sanl,i}(t_{SA}) \right] \right\}_i \quad [\text{Wh/a}],$$

$IEE(t_{SA})$ = Ist – Energieeinsparung durch Sanierungen im Jahr t_{SA} [Wh/a],

$EE_{l,i}(t_{SA})$ = Flächenspezifische Energieeinsparungen durch energetische Sanierungen der Bauteile u in der Baualtersklasse l und dem Gebäudetyp i des Wohngebäudebestands im Jahr t_{SA} [kWh/(m² a)],

$WF_{sanl,i}(t_{SA})$ = Sanierte Gebäudefläche der Baualtersklasse l und des Gebäudetyps i im Sanierungsjahr t_{SA} [m²],

u = Bauteil u mit $u = 1, \dots, w, w+1$ (Gebäudehülle und Heizungsanlage) [-],

l = Baualtersklasse l mit $l = 1, \dots, r$ [-],

i = Gebäudetyp i mit $i = 1, \dots, p$ [-].

Gleichung 6-9: Berechnung der Ist-Energieeinsparung

Ist-Energieeinsparungen nach empirischen Analysen in Deutschland

Im Rahmen der Auswertung mehrjähriger Verbrauchsdaten von rund 70.000 Gebäuden eines Versorgungsgebiets wurde für das Jahr 1999 auf der Basis der geltenden Verordnung eine Ist-Energieeinsparung von ungefähr 59 % ermittelt [Kleemann & Hansen, 2005, S.61]. Da die Analyse nahezu ein Prozent des Gebäudebestands in Deutschland umfasst und alle Gebäudetypen und Altersklassen beinhaltet, kann die Stichprobe als repräsentativ eingeordnet werden. Der Zahlenwert für die Ist-Energieeinsparung ergibt sich als Mittelwert der analysierten Gebäude und gilt nur für einen größeren Bestand, da die Werte im Einzelfall erheblich schwanken können.

Dieser empirisch ermittelte Wert beinhaltet zwei entscheidende Einflüsse, denn er bildet sowohl die Verminderungen des Energieverbrauchs durch die Sanierung als auch die Verbrauchsänderungen durch das Nutzerverhalten zusammen ab.

Obwohl die Analyse vor dem In-Kraft-Treten der Energieeinsparverordnung durchgeführt wurde, kann für das Jahr 2001 nach [Kleemann & Hansen, 2005, S. 62] aufgrund der fast unveränderten Anforderungen an die Bauteile bei der energetischen Sanierung im Bestand in der Wärmeschutzverordnung von 1995 und der Energieeinsparverordnung von 2001 der Wert von 59 % für die Ist-Energieeinsparung unterstellt werden.

6.7 Ableitung des Produkts der Ist-Sanierungsraten und Ist – Energieeinsparungen

Aufgrund der mangelnden Daten zur Charakterisierung der tatsächlichen jährlichen Sanierungsraten und der erzielten Ist-Energieeinsparungen für den gesamten europäischen Wohngebäudebestand wird in den nachfolgenden Abschnitten eine länderspezifische, empirische Analyse zur Bestimmung des Produkts dieser beiden Sanierungsparameter durchgeführt. Als Ausgangsbasis dienen die temperaturbereinigten Raumwärmeverbrauchswerte der Odyssee - Datenbank [Enerdata, 2002]. Für die Durchführung der Zeitreihenanalyse von 1990 bis 2001 werden diese Verbrauchswerte zur Glättung der jährlichen Schwankungen linearisiert (vgl. Tabelle 6-7). In der Abbildung 6-9 ist ein Beispiel für die Verbrauchswerte in Deutschland dargestellt.

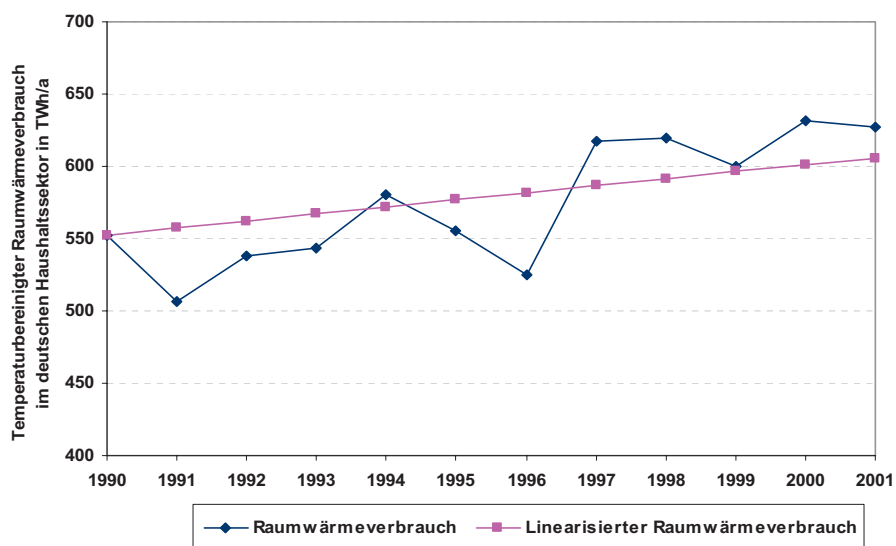


Abbildung 6-9 : Linearisierung der Raumwärmeverbräuche des Zeitraums von 1991 bis 2001 für den Wohngebäudebestand in Deutschland

Definition des Altbaus und Bestimmung des Raumwärmeverbrauchs

Zur Herleitung der Energieeinsparungen durch Sanierungen im Bestand wird der Energieverbrauch des Ausgangsjahrs 1990 als Altbau definiert. Alle Wohngebäude, die nach 1990 errichtet werden, kennzeichnen somit in dieser Analyse den Neubau. Die Neubauwohnflächen von 1991 bis 2001 werden gemäß den nationalen statistischen Ämtern und den spezifischen Verbrauchswerten nach der Tabelle 4-7 berücksichtigt.

Bildet man die jährliche Differenz zwischen dem linearisierten Raumwärmeverbräuchen und den summierten Energieverbräuchen für die Neubauten, so erhält man die Entwicklung des Altbaus. Dabei wird in der Betrachtung unterstellt, dass die abgerissenen Wohngebäude des Zeitraums 1990 bis 2001 vor dem Abriss leer stehen und nicht zum Energieverbrauch des Altbaus in dieser Zeitreihenanalyse beitragen. In der Tabelle 6-7 ist die Bestimmung des Altbaus von 1990 bis 2001 am Beispiel von Deutschland aufgeführt. Der Raumwärmeverbrauch des Altbaus vermindert sich nach diesen Verbrauchswerten im Zeitraum von 1990 bis 2001 um 4,4 TWh.

Wird der Raumwärmeverbrauch ohne Neubau normiert auf den beheizten Wohnflächenanteil des Altbaus von 1990, so verringert sich der Verbrauch um 18,6 TWh. Die Überlagerung dieser beiden Effekte führt zur Verminderung des Raumwärmeverbrauchs im Altbau von 23 TWh bis 2001.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
	in TWh / a											
Linearer Raumwärmeverbrauch	552,6	557,4	562,3	567,1	572,0	576,8	581,7	586,5	591,4	596,2	601,1	605,9
Verbrauch des Neubaus	0,0	3,9	8,4	13,1	19,2	25,3	31,1	37,1	42,7	48,3	53,5	57,7
Raumwärmeverbrauch ohne Neubau	552,6	553,5	553,8	554,0	552,8	551,5	550,6	549,4	548,7	547,9	547,6	548,2
Altbau mit beh. Anteil von 1990	552,6	550,9	549,2	547,5	545,8	544,1	542,4	540,7	539,0	537,4	535,7	534,0
Reduktion des Raumwärmeverbrauchs des Altbaus von 1990	0,0	0,8	2,2	3,7	6,6	9,6	12,2	15,1	17,5	19,9	21,9	23,0

Tabelle 6-7: Verringerung des Raumwärmeverbrauchs des Altbaus von 1990 bis 2001 am Beispiel von Deutschland

In Analogie zur Tabelle 6-7 sind in der nachfolgenden Tabelle 6-8 die Werte für den Raumwärmeverbrauch aller untersuchten Länder, die um den Verbrauch des Neubaus reduziert wurden, ohne die Berücksichtigung der jährlichen Veränderungen des beheizten Wohnflächenanteils für den Zeitraum von 1990 bis 2001 aufgeführt.

6.7 Ableitung des Produkts der Ist-Sanierungsraten und der Ist-Energieeinsparungen

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
	in TWh / a											
Österreich	55,3	55,3	55,4	55,4	55,4	55,4	55,2	55,1	55,0	54,8	54,7	54,7
Belgien	83,5	82,9	82,3	81,6	80,8	80,0	79,5	78,8	78,2	77,7	77,2	76,7
Dänemark	35,7	35,3	35,1	34,8	34,6	34,4	34,2	34,0	33,7	33,5	33,2	33,0
Finnland	30,1	29,6	29,3	29,1	28,9	28,9	28,8	28,8	28,7	28,6	28,5	28,3
Frankreich	304,3	308,1	312,1	316,2	319,9	323,9	327,8	331,6	334,4	337,6	340,5	343,9
Deutschland	552,6	553,5	553,8	554,0	552,8	551,5	550,6	549,4	548,7	547,9	547,6	548,2
Griechenland	25,6	26,2	26,9	27,5	28,0	28,5	29,2	29,9	30,6	31,3	32,0	32,7
Irland	16,3	16,5	16,7	16,9	17,2	17,4	17,4	17,4	17,5	17,5	17,6	17,6
Italien	204,2	205,3	206,5	207,6	208,9	210,1	211,4	212,8	214,2	215,7	217,1	218,6
Luxemburg	4,9	4,9	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6
Niederlande	79,2	78,7	78,2	77,7	77,2	76,7	76,1	75,4	74,8	74,2	73,6	73,0
Portugal	6,4	6,4	6,4	6,5	6,5	6,5	6,6	6,6	6,6	6,6	6,7	6,7
Spanien	48,9	49,7	50,7	51,6	52,5	53,5	54,3	55,0	55,7	56,3	56,7	56,8
Schweden	62,5	61,4	60,4	59,5	58,8	58,1	57,5	56,8	56,1	55,5	54,8	54,2
Großbritannien	288,2	290,8	293,4	296,1	298,7	301,2	303,8	306,4	309,0	311,6	314,3	317,1

Tabelle 6-8 Raumwärmeverbrauch des Altbaus in der EU im Zeitraum von 1990 bis 2001

Kumulierte Raumwärmereduktion im Altbaubereich

Die in der Tabelle 6-8 aufgeführten Raumwärmeverbräuche des Altbaus beinhalten sowohl quantitative als auch qualitative Aussagen über die Höhe der Energieeinsparungen durch energetische Sanierungen von 1991 bis 2001. Zur Herleitung der erreichten Energieeinsparungen der durchgeführten Sanierungen werden in dieser Zeitreihenanalyse die Verbrauchswerte des Altbaus grundsätzlich auf die beheizte Wohnfläche des Jahres 1990 bezogen. Hierdurch können energetische Änderungen des Bestands ermittelt werden. Das Produkt der Ist-Sanierungsraten und der Ist-Energieeinsparungen kann dabei aus der Differenz der Verbrauchswerte für den Altbau in 1990, den auf die beheizte Wohnfläche von 2001 bezogenen Altbau und dem Raumwärmeverbrauch ohne Neubau des Jahres 2001 bestimmt werden. Diese Berechnung setzt voraus, dass die Differenz positiv ist. Weitere

Bedingungen dieser Vorgehensweise stellen einerseits der Raumwärmeverbrauch des Altbaus in 1990, der in Bezug auf die beheizte Wohnfläche in 2001 größer sein muss, und andererseits der errechnete Raumwärmeverbrauch ohne Neubau des Jahres 2001 dar, der wiederum in Bezug auf die beheizte Wohnfläche in 1990 kleiner sein muss. Die Bedingung unter c) besteht darin, dass der Raumwärmeverbrauch ohne Neubau des Jahres 2001, der auf die beheizte Wohnfläche des Jahres 1990 bezogen wird, größer als der Verbrauch des Jahres 1990 ist. Die Berechnungsformel und die zugehörigen Bedingungen sind in der Gleichung 6-10 dargestellt.

$$IEE \cdot ISR = \left\{ 2 \cdot E_{1990} - E_{1990} \cdot \frac{c_{2001}}{c_{1990}} - [E_{2001} - E_{NB}] \right\}$$

mit (a) $E_{1990} > E_{1990} \cdot \frac{c_{2001}}{c_{1990}};$

(b) $(E_{2001} - E_{NB}) < (E_{2001} - E_{1990}) \cdot \frac{c_{1990}}{c_{2001}};$

(c) $(E_{2001} - E_{NB}) \cdot \frac{c_{1990}}{c_{2001}} > E_{1990}.$

$IEE \cdot ISR$ = Produkt der Ist-Energieeinsparung und der Ist-Sanierungsrate [TWh],

E_{1990} = Raumwärmeverbrauch des Altbaus im Jahr 1990 [TWh],

E_{2001} = Raumwärmeverbrauch im Haushaltssektor im Jahr 2001 [TWh],

E_{NB} = Kumulierter Raumwärmeverbrauch des Neubaus von 1991 bis 2001 [TWh],

c_{1990} = Beheizter Wohnflächenanteil im Jahr 1990 [-],

c_{2001} = Beheizter Wohnflächenanteil im Jahr 2001 [-].

Gleichung 6-10: Grundsätzliche Berechnung des Produkts der Ist-Sanierungsrate und der Ist-Energieeinsparungen des Zeitraums 1990 bis 2001 mit den Bedingungen a, b und c

Bei der Anwendung der Gleichung 6-10 sind aufgrund der Bedingungen weitere Fälle für die Berechnung des Produkts der Ist-Sanierungsrate und der Ist-Energieeinsparungen zu unterscheiden:

1. Ist die Differenz in der Gleichung 6-10 positiv und die anderen Bedingungen sind nicht erfüllt, so gilt:

$$IEE \cdot ISR = \left\{ E_{1990} \cdot \left[3 - 2 \cdot \frac{c_{2001}}{c_{1990}} \right] - [E_{2001} - E_{NB}] \cdot \left[2 - \frac{c_{1990}}{c_{2001}} \right] \right\};$$

2. Wenn $(E_{2001} - E_{NB}) \cdot \frac{c_{1990}}{c_{2001}} < E_{1990}$, so gilt:

$$IEE \cdot ISR = 2 \cdot \left\{ E_{1990} \cdot \left[1 - \frac{c_{2001}}{c_{1990}} \right] - [E_{2001} - E_{NB}] \cdot \left[1 - \frac{c_{1990}}{c_{2001}} \right] \right\};$$

3. Ist die in der Gleichung 6-10 berechnete Differenz kleiner oder gleich null, obwohl die anderen Bedingungen erfüllt werden, so lautet die Berechnung:

$$IEE \cdot ISR = \left\{ E_{1990} \cdot \left[1 - \frac{c_{2001}}{c_{1990}} \right] - [E_{2001} - E_{NB}] \cdot \left[1 - \frac{c_{1990}}{c_{2001}} \right] \right\};$$

4. Ist die Differenz in der Gleichung 6-10 negativ und auch die anderen Bedingungen sind nicht erfüllt, so gilt:

$$IEE \cdot ISR = \left\{ E_{1990} \cdot \left[\frac{c_{2001}}{c_{1990}} - 1 \right] - [E_{2001} - E_{NB}] \cdot \left[1 - \frac{c_{1990}}{c_{2001}} \right] \right\};$$

5. Wenn die Differenz kleiner oder gleich null und $(E_{2001} - E_{NB}) \cdot \frac{c_{1990}}{c_{2001}} > E_{1990}$ ist,

so gilt, wenn die zusätzliche Bedingung gilt: $(E_{1990} - E_{NB}) > (E_{2001} - E_{1990}) \cdot \frac{c_{1990}}{c_{2001}}$

$$IEE \cdot ISR = - \left\{ E_{1990} \cdot \left[1 - \frac{c_{2001}}{c_{1990}} \right] - [E_{2001} - E_{NB}] \cdot \left[1 - \frac{c_{1990}}{c_{2001}} \right] \right\}$$

Sonst:

$$IEE \cdot ISR = \left\{ E_{1990} \cdot \left[2 \cdot \frac{c_{2001}}{c_{1990}} - 1 \right] - [E_{2001} - E_{NB}] \cdot \left[2 \cdot \frac{c_{1990}}{c_{2001}} - 1 \right] + E_{NB} \right\}.$$

Die Ermittlungen der Raumwärmeeinsparungen des Altbaus im Jahr 1990 in der Zeitreihe von 1990 bis 2001 führen unter der Anwendung der Gleichung 6-10 sowie den weiteren Fallunterscheidungen zu den nationalen Produkten aus den Ist-Sanierungsraten und den Energiereduktionen, die in der Abbildung 6-10 dargestellt sind. Es handelt sich um Einsparungen, die im Rahmen der landesüblichen Sanierungspraxis rechnerisch erreicht wurden. Die größten Einsparungen im Bereich des Altbaus werden durch energetische Sanierungen in Deutschland erzielt. In Großbritannien wurde der Raumwärmeverbrauch des Altbaus von 1990 in dieser Zeitreihenanalyse um knapp 11 TWh und in Frankreich um rund

5,6 TWh gesenkt. Nahezu keine Verbesserungen oder nur geringfügige Verbrauchsminderungen durch energetische Maßnahmen im Bestand wurden nach diesen Berechnungen für Luxemburg und Portugal ermittelt.

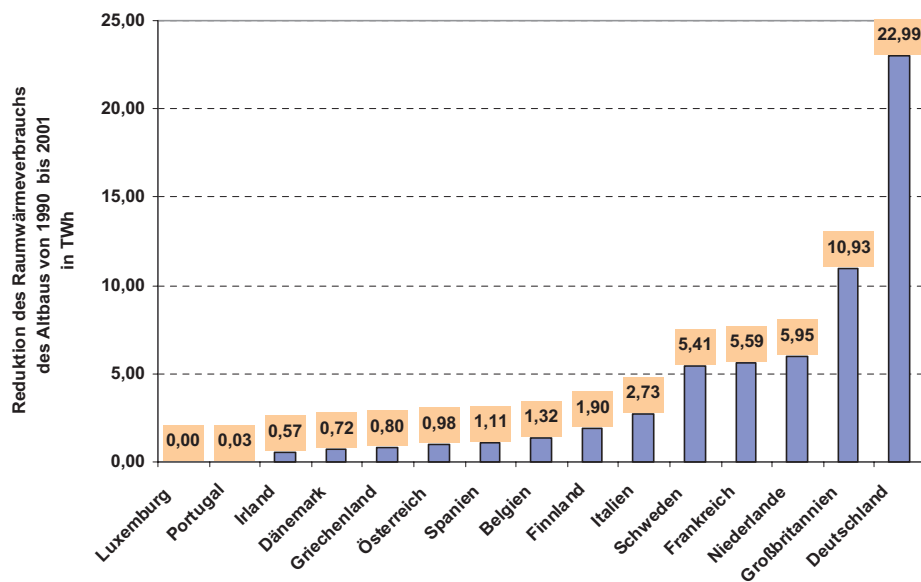


Abbildung 6-10: Kumulierte Raumwärmereduktionen des Altbaus für die untersuchten EU-15-Länder von 1990 bis 2001

6.8 Bewertung der Effizienz der Sanierungen mit Hilfe der Potenzialausnutzung

Definition der Potenzialausnutzung

In der Potenzialausnutzung werden in jedem Sanierungsjahr die in der Realität erzielten Sanierungsraten und Energieeinsparungen in Beziehung zu den Sollsanierungsraten und Soll-Energieeinsparungen entsprechend der geltenden Verordnung bzw. dem Gesetz gesetzt. Die Potenzialausnutzung ergibt sich folglich durch das Verhältnis der quantitativ und qualitativ erreichten Energieeinsparungen in Bezug zur Einsparung, die bei einer Vollsanierung gemäß den nationalen Anforderungen erzielt werden kann. Die Vollsanierung bezieht sich dabei auf die energetische Sanierung der Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage.

In der Gleichung 6-10 ist die Formel zur Bestimmung der Potenzialausnutzung im Zeitraum Δt aufgeführt. Wird die Potenzialausnutzung des jeweiligen Landes x für einen Zeitraum Δt bestimmt, so wird das Verhältnis der erreichten quantitativen und qualitativen Einsparungen in Bezug zu den Sollwerten gemäß der nationalen Verordnung bzw. dem Gesetz für jedes einzelne Sanierungsjahr berechnet und aufsummiert. Die Potenzialausnutzung ist damit ein Indikator für die Qualität der durchgeführten Sanierungen.

$$PA_x(\Delta t) = \left[\sum_{t=0}^n \frac{ISR(t) \cdot IEE(t)}{SSR_{ges}(t) \cdot SEE_{ges}(t)} \right]_x \quad [-]$$

mit

$PA_x(\Delta t)$ = Potenzialausnutzung des Landes x im Zeitraum Δt [-],

$ISR_x(t)$ = Ist-Sanierungsraten des Landes x im Sanierungsjahr t [%/a],

$IEE_x(t)$ = Realisierte Energieeinsparungen des Landes x im Sanierungsjahr t [Wh/a],

$SSR_{ges,x}(t)$ = Gesamt-Soll-Sanierungsrate des Landes x im Sanierungsjahr t [%/a],

$SEE_{ges,x}(t)$ = Gesamt-Soll-Energieeinsparung des Landes x im Sanierungsjahr t [Wh/a],

Δt = Zeitraum Δt mit $t = 0, \dots, n$.

Gleichung 6-11: Bestimmung der nationalen Potenzialausnutzung im Zeitraum Δt

Gegenüberstellung der Produkte aus Sanierungsraten und Energieeinsparungen

Werden die jährlichen Sanierungsparameter für das Produkt der Ist-Sanierungsraten und realisierten Energieeinsparungen nach den Gleichungen 6-10 und die Gesamt-Soll-Sanierungsrate nach Gleichung 6-4 sowie die Gesamt-Soll-Energieeinsparung nach der Gleichung 6-7 bestimmt, so können die nationalen Potenzialausnutzungen für den Sanierungszeitraum von 1990 bis 2001 nach der Gleichung 6-11 berechnet werden.

In der Abbildung 6-11 sind unter der Berücksichtigung der empirischen Zeitreihenanalyse die Produkte der Ist-Sanierungsraten und der Ist-Energieeinsparungen gegenüber den Sollwerten dargestellt. Die Soll-Energieeinsparungen entsprechen dabei den nationalen Anforderungsniveaus nach den geltenden Verordnungen im Zeitraum von 1990 bis 2001. Der Vergleich der erzielten Raumwärmeeinsparungen aus den Ist-Sanierungsraten und den Ist-Energieeinsparungen mit den berechneten Sollwerten zeigt, dass mit Ausnahme von Schweden die Einsparpotenziale nicht ausgeschöpft werden.

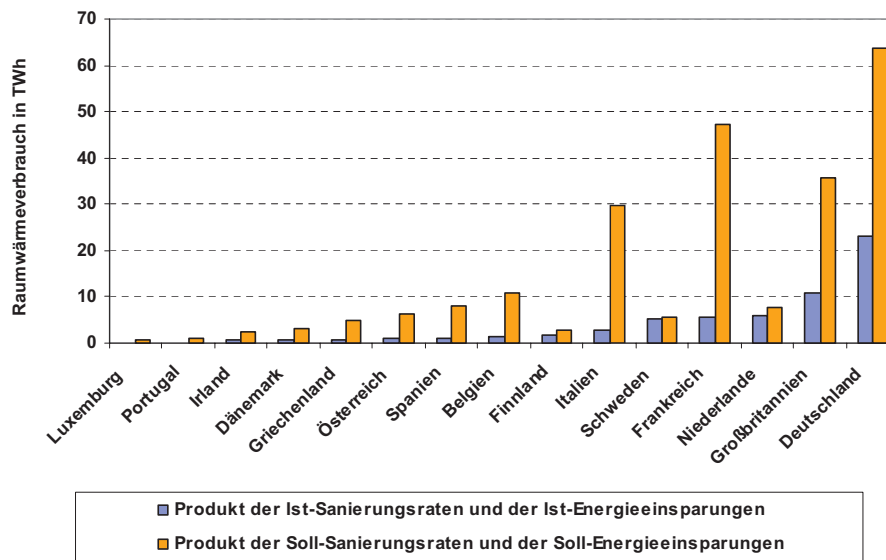


Abbildung 6-11: Gegenüberstellung der kumulierten Raumwärmereduktionen des Altbaus mit den Sollwerten für den Zeitraum von 1990 bis 2001

Vergleich der Potenzialausnutzungen

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Zeitreihenanalyse führt die Anwendung der Gleichung 6-10 durch die Bildung des Quotienten der Ist- und Sollwerte, die in der Abbildung 6-9 abgebildet sind, zur Herleitung der nationalen Potenzialausnutzungen. In der Abbildung 6-12 sind die nationalen Potenzialausnutzungen aufgeführt. Entsprechend der Gegenüberstellung der kumulierten Ist- und Sollwerte von 1990 bis 2001 werden die größten Potenzialausnutzungen in Schweden mit 99 %, in den Niederlanden mit 78 % und in Finnland mit 68 % erreicht. **In Deutschland werden die Sanierungspotenziale nur zu 36 % ausgeschöpft.** Noch deutlich niedrigere Effizienzen bei energetischen Sanierungen werden in Griechenland mit 17 %, Österreich mit 16 %, Spanien mit 14 % sowie Frankreich und Belgien mit je 12 % und Italien mit nur 9% erzielt. Die niedrigsten Werte werden nach dieser Analyse für Portugal und Luxemburg erreicht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Qualität und der Umfang der Altbausanierungen in der EU völlig unzureichend sind.

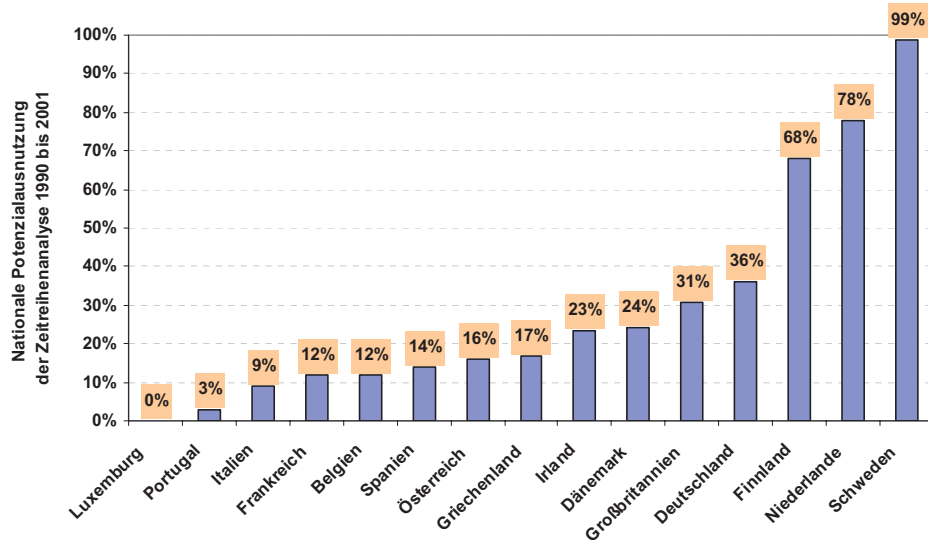


Abbildung 6-12: Ableitung der nationalen Potenzialausnutzungen des Jahres 2001 aus der Zeitreihenanalyse von 1990 bis 2001

Empfehlung zur Verbesserung der Datensituation

Die Plausibilität der Potenzialausnutzungen ist gemäß den bisherigen nationalen Analysen zur Umsetzung von energetischen Sanierungen, die in Kapitel 3 aufgelistet sind, gegeben. Dennoch kann die oft unzureichende Datensituation zur Kennzeichnung der nationalen Ist-Sanierungsraten und den erzielten Ist-Energieeinsparungen, die aus diesem Grund im Rahmen dieser Arbeit nur als Produkt aus verfügbaren Daten gewonnen werden können, zu Fehlern beitragen. Zur Verringerung dieser Fehler wäre ein erweiterter Forschungsansatz notwendig, der ein detailliertes Monitoring von energetischen Sanierungen in den einzelnen Staaten umfasst. Leider existiert auch in Deutschland ein solches Monitoring auf behördlicher Basis noch nicht.

7. Entwicklung eines Sanierungsmodells

Im Mittelpunkt des Sanierungsmodells steht die Berechnung der Reduzierung des Raumwärmeverbrauchs und der CO₂-Emissionen durch energetische Sanierungen im europäischen Gebäudebestand.

7.1 Modellansatz und Struktur des Modells

7.1.1 Modellansatz

Der Entwicklung eines energetischen Sanierungsmodells für den europäischen Wohngebäudebestand liegt ein Top-Down Ansatz zugrunde. Für das Sanierungsmodell wird ein gebäudetypologischer Modellansatz gewählt. Neben der Darstellung der Bestandsstruktur zu einem festgelegten Zeitpunkt sind die Prozesse durch die Alterung, die Rahmenbedingungen sowie die Sanierungsparameter und Bestandsentwicklungen im Modell zu integrieren (vgl. Abbildung 7-1).

Auf der Basis der Parameter zur Wohnungswirtschaft, den Energieverbräuchen und den zugehörigen Energieträgerstrukturen werden im Modell die Alterungsprozesse der Bauteile und die Auswirkungen auf die Sanierungshäufigkeit unter der Definition von Sanierungsparametern analysiert. Diese Analyse dient unter Berücksichtigung einer umfangreichen und detaillierten Datenbasis zur Ableitung von Szenarien, die Optionen zur Reduktion des Energiebedarfs und den CO₂-Emissionen aufzeigen sollen. Die Struktur des Sanierungsmodells wird auf der Grundlage einer Excelplattform erstellt.

Die Abbildung des Alterungsprozesses der Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage beruht im Modell auf einem wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatz. Dabei kann ausgehend vom Baujahr eines Wohngebäudes die Sanierungshäufigkeit und die Entwicklung der Sanierungsparameter bezüglich der Sollwerte simuliert werden. Die Berechnung kann differenziert nach den verschiedenen Gebäudetypen, Altersklassen und betrachteten Bauteilen durchgeführt werden.

Durch die resultierenden Verteilungen für die Sanierungshäufigkeiten können im Modell jährliche Soll-Sanierungsraten hergeleitet werden. Mit Bezug auf den Wohngebäudebestand ermöglicht das Modell durch diese Simulation eine quantitative Bewertung der durchzuführenden Sanierungen. Die Kombination dieser Soll-Sanierungsraten mit den Soll-Energieeinsparpotenzialen, die sich aus der Differenz der Anforderungen bei energetischen Sanierungen und dem analysierten Ausgangszustand ergeben, kann im Modell zur Ableitung der erzielbaren Raumwärmereduktionen und der Senkung der CO₂-Emissionen durch Sanierungen genutzt werden.

Die Rahmenbedingungen und ein großer Teil der Einflussparameter sind im Modell exogen vorliegende Faktoren, welche die zukünftige Entwicklung in Szenarien begrenzen und steuern. Wichtige Rahmenbedingungen für die Erstellung des Modells sind einerseits die EU-Gebäuderichtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und die EU-Richtlinie über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen sowie die vorgeschlagene Richtlinie der EU-Kommission zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und andererseits die nationalen Klimaschutzaktivitäten, die zur Minderung des Energieverbrauchs im Wohngebäudebestand beitragen. In der Abbildung 7-1 ist die Struktur des energetischen Sanierungsmodells dargestellt.

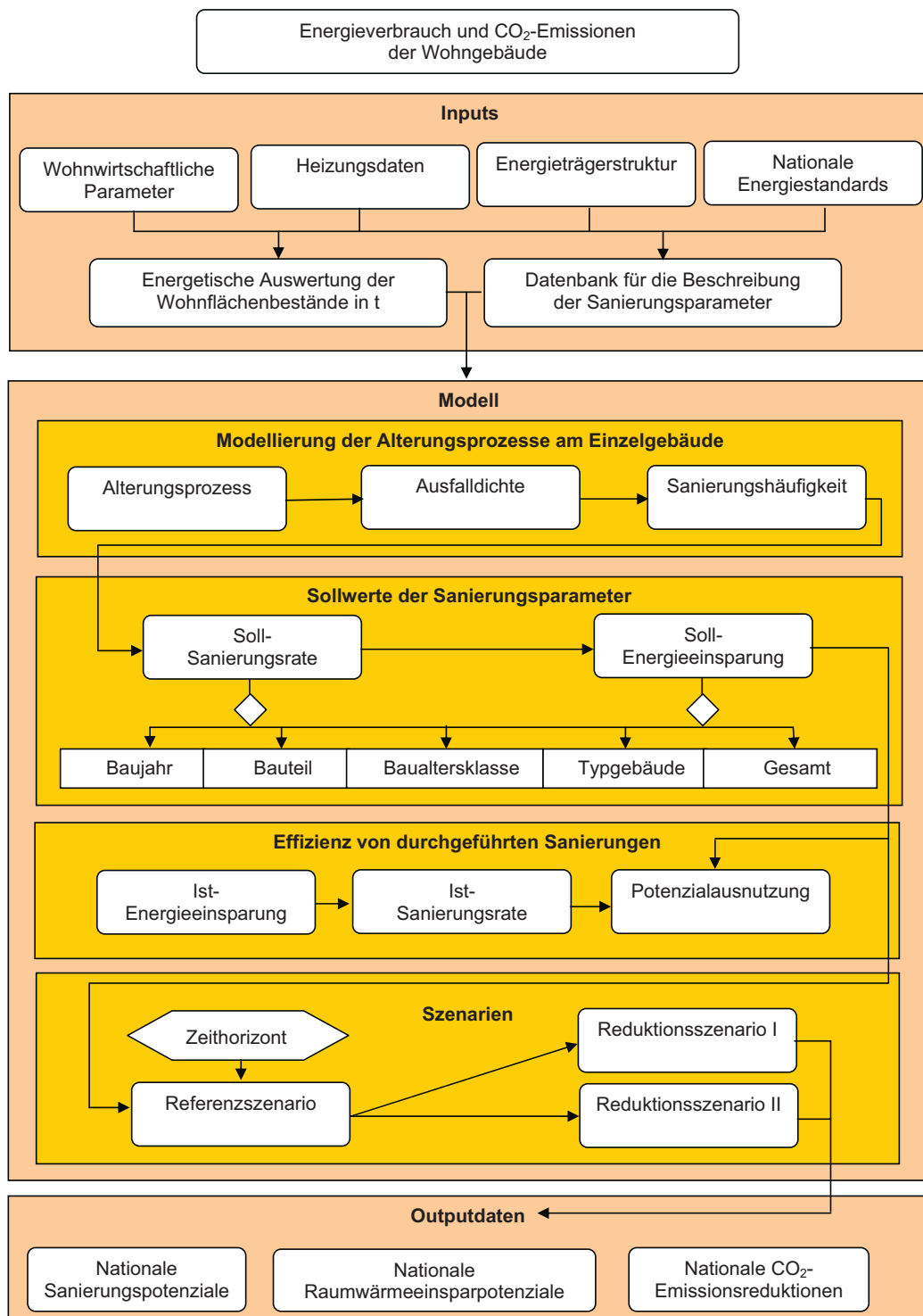


Abbildung 7-1: Darstellung der Struktur des energetischen Sanierungsmodells

7.1.2 Struktur des Modells

Auf der Basis der Sanierungsparameter und der wohnwirtschaftlichen Parameter sowie der Energieträgerstrukturen sollen im energetischen Sanierungsmodell unter der Berücksichtigung der Alterungsprozesse die jährlichen Sanierungspotenziale bestimmt werden. Unter der Beachtung der nationalen Energiestandards kann auf diese Weise das Energiereduktionspotenzial für die Einsparung von Raumwärme sowie der CO₂-Emissionen ermittelt werden.

Inputparameter

Ausgehend von der Datenbank zur Charakterisierung der nationalen Wohnflächenbestände im jeweiligen Ausgangszustand nach Kapitel 4 werden dem Sanierungsmodell Angaben für die Entwicklung der Energieträgerstrukturen und der Heizungsdaten sowie der wohnwirtschaftlichen Parameter im zu analysierenden Zeithorizont exogen vorgegeben. Für die Durchführung der Berechnungen im Sanierungsmodell sind neben diesen Parametern zudem die erforderlichen Energiestandards der Staaten bei energetischen Sanierungen und deren Änderungen im zeitlichen Verlauf als Inputs vorzugeben.

1. Modellierung der Alterungsprozesse

Der Alterungsprozess wird durch die Anwendung des in Kapitel 5 beschriebenen wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatzes kontinuierlich über der technischen Lebensdauer modelliert, so dass jeder Zeit t ein bestimmter Grad der erreichten Alterung zugewiesen werden kann. Gleichzeitig kann mit der Ausfalldichtefunktion die Ausfallrate, die im Modell als Wahrscheinlichkeit für das Erreichen der technischen Lebensdauer in der Zeit t definiert ist, bestimmt werden. Zur realitätsnahen Abbildung der Ausfallwahrscheinlichkeiten werden im Modell weibullverteilte Funktionen dargestellt.

2. Berechnung des Sanierungspotenzials

Durch die kombinierte Darstellung von Alterung und Ausfall kann im Modell die Sanierungshäufigkeit auf der Grundlage der Ausfalldichtefunktion bauteilspezifisch abgebildet werden. Die Bildung des Produkts bestehend aus diesen Ausfalldichtefunktionen mit einem Wohnflächenquotienten, der den Wohnflächenbestand des Baujahrs in Beziehung zur gesamten Wohnfläche im Sanierungsjahr setzt, führt zur Modellierung der Soll-Sanierungsraten für jedes Baujahr. Die Überschneidung der Renovierungszyklen wird dabei im Modell durch die Addition der Anteile der einzelnen Renovierungszyklen für das jeweilige Baujahr berücksichtigt.

Diese Soll-Sanierungsraten können für alle Baujahre des Wohngebäudebestandes und alle Sanierungsjahre über der Lebensdauer erstellt werden. Dabei können die Soll-Sanierungsraten für die einzelnen Bauteile differenziert nach dem Baujahr, der

Baualtersklasse, dem Gebäudetyp oder für den gesamten Wohngebäudebestand des betreffenden Staats ausgewiesen werden. Durch die Bildung des Mittelwerts über alle Bauteile und Baualtersklassen können die Gesamt-Soll-Sanierungsraten bestimmt werden.

3. Ableitung des Raumwärmeeinsparpotenzials

Auf der Basis einer detaillierten Datenbank zur Charakterisierung des energetischen Ausgangszustands und den vorgegebenen nationalen Anforderungsniveaus der Energiestandards können durch die Einzelgebäude der Gebäudetypologie die bauteilspezifischen Raumwärmeeinsparungen durch energetische Sanierungen ermittelt werden. Im Modell dienen diese flächenspezifischen Energieeinsparungen in Kombination mit den Sollwerten für die Sanierungsraten zur Herleitung von Soll-Energieeinsparungen.

Durch die Addition der Soll-Energieeinsparungen der einzelnen Baualtersklassen und Bauteile kann die Gesamt-Soll-Energieeinsparung bestimmt werden. Diese Größe beschreibt das gesamte Raumwärmeeinsparpotenzial durch energetische Sanierungen in einem Sanierungsjahr.

4. Berechnung der Potenzialausnutzung von durchgeführten Sanierungen

Die Analyse der Potenzialausnutzung von durchgeführten Sanierungen wird im Modell durch das Verhältnis der erzielten Raumwärmeverminderungen im Altbau zu den Gesamt-Soll-Sanierungsraten und den Gesamt-Soll-Energieeinsparungen entsprechend der geltenden Verordnung beschrieben. Die Charakterisierung der durchgeführten Sanierungen erfolgt dabei für jedes Sanierungsjahr grundsätzlich mit dem Produkt, aus der Ist-Sanierungsrate und der erreichten Ist-Energieeinsparung. Die Modellierung wird am Beispiel der Zeitreihenanalyse von 1990 bis 2001 angewendet.

5. Entwicklung von Szenarien bis 2030

Auf der Grundlage der Bestandsveränderungen durch Abriss und Neubau wird ein fiktives Szenario modelliert, das als Referenzniveau für die Einsparungen in den anderen Szenarien verwendet wird. Wichtige Rahmenbedingungen für die Szenarien stellen die EU-Gebäuderichtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und die EU-Richtlinie über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen dar.

Bei der Erstellung der Szenarien werden unter Berücksichtigung der Annahmen je nach Definition des Szenarios die Modellierungen der Alterungsprozesse für die nationalen Wohnflächenbestände bis 2030 fortgeführt und die gesamten Soll-Sanierungsraten und Soll-Energieeinsparungen für die einzelnen Sanierungsjahre ermittelt. Die Summe der Gesamt-Soll-Energieeinsparungen von 2006 bis 2030 führt zum gesamten Raumwärmeeinsparpotenzial und durch die Umrechnung mit den Emissionsfaktoren zu den CO₂-Emissionsreduktionen.

Die Potenzialausnutzung, die sich aus der Untersuchung der Zeitreihe von 1990 bis 2001 ergibt, wird bei der Erstellung der Szenarien für die Ableitung der Trendentwicklung herangezogen.

Outputdaten

Durch die Modellierung der Alterungsprozesse der Bauteile und die resultierenden Sanierungshäufigkeiten ist es mit dem Modell möglich, durch die Sanierungsparameter Outputdaten zu den Sanierungs- und Raumwärmeeinsparpotenzialen zu bestimmen. Diese Potenziale können für den Wohnflächenbestand in jedem Staat differenziert nach den einzelnen Baujahren, für jedes Bauteil und für jeden Gebäudetyp ausgewiesen werden.

Durch die Untersuchung der Sanierungstätigkeiten im Altbau für den Zeitraum von 1990 bis 2001 lassen sich durch das Verhältnis der tatsächlichen Verminderungen der Raumwärme zu den Sollwerten der Sanierungsraten und den Energieeinsparungen im Modell die nationalen Potenzialausnutzungen ermitteln.

Abhängig von der Fortführung der Alterungsprozesse und der Berechnung der Sollwerte der Sanierungsparameter bis 2030 ist es in den Szenarien möglich, differenzierte Outputdaten zu den nationalen Reduktionspotenzialen der Raumwärmeverbräuche und den zugehörigen CO₂-Emissionen zu bestimmen.

7.2 EU-Richtlinien für den europäischen Gebäudesektor

Die europäische Klimaschutzpolitik zur Senkung der CO₂-Emissionen im Gebäudesektor wird zur Zeit durch die Richtlinie zur Gesamteffizienz von Gebäuden und die Effizienzrichtlinie sowie von der vorgeschlagenen Richtlinie der EU-Kommission zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen entscheidend geprägt. Diese Rahmenbedingungen definieren die Grundlage für die weitere Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz bei der Sanierung von Altbauten und der Errichtung von Neubauten.

EU-Gebäuderichtlinie

Die europäische Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [EU, 2003] fordert alle Mitgliedsstaaten auf, durch nationale Verordnungen ein einheitliches Berechnungsverfahren gemäß dem Anhang der Richtlinie zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz zu erstellen. Hierdurch soll zugleich die Harmonisierung und Vergleichbarkeit der Anforderungsprofile verstärkt werden.

Durch die Anwendung dieser Berechnungsmethode sollen im Rahmen der Richtlinie neben den Anforderungen an den Wärmeschutz bei Neubauten auch verbindliche, energetische Mindestanforderungen bei der Sanierung von Wohngebäuden mit einer Wohnfläche von mehr als 1.000 Quadratmeter formuliert werden. Die Umsetzung dieser Mindestanforderungen hängt von technischen, funktionellen und wirtschaftlichen Gegebenheiten ab und ist mindestens alle zwei Jahre zu überprüfen. Um dem technischen Fortschritt Rechnung zu tragen, sind bei den Anforderungen an Neubauten spätestens alle fünf Jahre notwendige Verschärfungen des Wärmeschutzes vorzusehen.

Für alle Neubauten sowie beim Verkauf oder der Vermietung von Wohngebäuden wird mit der Richtlinie ein Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz verpflichtend. Der Energieausweis soll Referenzwerte und Vergleichskennwerte aufweisen, die dem Verbraucher einen Vergleich und eine Beurteilung der Gesamtenergieeffizienz des Wohngebäudes ermöglichen. Außerdem hat der Energieausweis über mögliche Verbesserungsmaßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz zu informieren. Die Gültigkeit dieser Energieausweise soll einen Zeitraum von 10 Jahren nicht überschreiten.

Zur Minderung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen wird eine regelmäßige Inspektion der Heizkessel gefordert. Für Heizkessel mit einer Nennleistung über 20 kW, die älter als 15 Jahre sind, ist darüber hinaus eine einmalige Inspektion der gesamten Heizungsanlage vorgesehen. Ziel der Heizkesselinspektionen sind vor allem Hinweise zu den Wirkungsgraden und den Kesseldimensionierungen.

Diese Richtlinie sieht zudem vor, dass auch Klimaanlage, die eine Nennleistung von mehr als 12 kW besitzen, regelmäßig gewartet werden. Diese europäische Richtlinie ist grundsätzlich am 04. Januar 2006 in Kraft getreten. Bei fehlendem Fachpersonal zur Erstellung der Energieausweise und den Inspektionen kann der Mitgliedsstaat eine Aufschiebung dieser drei Aspekte um drei Jahre beantragen. In Deutschland sind diese Anforderungen durch die geltenden Verordnungen erfüllt.

EU-Effizienzrichtlinie

Nach der Effizienzrichtlinie der EU soll nicht nur die Angebotsseite von Energiedienstleistungen gefördert werden, sondern auch ein verstärkter Anreiz für die Nachfrageseite geschaffen werden. Dabei sollen die Mitgliedsstaaten ein verbindliches Ziel für kumulative jährliche Energieeinsparungen aufgrund von Energiedienstleistungen, Energieeffizienzmaßnahmen und -programmen bis 2015 festlegen. Die vorgeschlagene Richtlinie umfasst die individuelle Energieverbrauchserfassung und –abrechnung, die Drittfinanzierung von Energieinvestitionen im öffentlichen Bereich und Energieaudits in der Industrie. Gemeinsam mit der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [EU, 2006] ersetzen die beiden Richtlinien die bisherige Richtlinie [93/76/EWG (1976)].

Insgesamt sollen durch diese Richtlinie bestehende EU-Legislativinitiativen im Bereich der Energieeffizienz unterstützt werden. Verstärkte Beratungen im Rahmen von Energiedienstleistungen, Energieeffizienzprogrammen und anderen -maßnahmen sollen u. a. zur Erzielung von Energieeinsparungen in Wohngebäuden beitragen und die Realisierung von Energieeinsparpotenzialen aus den Energieausweisen verbessern. Auch die jährlichen Inspektionen von Heizkesseln und Klimaanlage werden ergänzt, damit unmittelbare Anreize für die Verbesserung oder den Austausch von Geräten geschaffen werden.

Die Konkretisierung dieses Energieeinsparungsziels besteht darin, dass gemäß der Berechnung des durchschnittlichen Energieverbrauchs im Basisjahr 9 % des Energievolumens bis 2015, welches an Endverbraucher aus den Bereichen Haushalt, Landwirtschaft, Gewerbe, öffentlicher Bereich, Teile der industriellen Aktivitäten oder Verkehr ohne Luft- und Seefahrt verteilt oder verkauft wurde, eingespart werden soll. Das Basisjahr berechnen die Mitgliedsstaaten aus dem arithmetischen Mittel aus den gesamten Endenergieverbrauchsdaten der letzten fünf Kalenderjahre 2002 bis 2006 vor Umsetzung dieser Richtlinie. Der Endenergieverbrauch wird bei der Berechnung der Basisperiode nicht nach den Gradtagen korrigiert.

Zum Erreichen dieses Ziels haben die Mitgliedsstaaten für das neunte Jahr der Anwendung dieser Effizienzrichtlinie einen nationalen Energiesparrichtwert von mindestens 9 % festzulegen, der durch Dienstleistungen und Effizienzmaßnahmen durch die begleitenden

Energieeffizienz-Allokationspläne (EEAP) zu realisieren ist. Diese Allokationspläne werden der europäischen Kommission erstmals in 2007 und jeweils zur Mitte der Jahre 2011 und 2014 vorgelegt. Der zweite und dritte EEAP soll nach der Richtlinie eine sorgfältige Analyse und Bewertung des vorangegangenen Allokationsplans enthalten.

Vorgeschlagene Richtlinie der EU-Kommission zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Energiequellen

In der vorgeschlagenen Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Energiequellen [EU-Kommission, 2008] werden Grundsätze erläutert, anhand derer die Mitgliedsstaaten sicherstellen müssen, dass der Anteil von erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch der EU-27 bis 2020 mindestens 20 % erreicht, und die Gesamtziele für die einzelnen Mitgliedsländer festschreibt [Piebalgs, 2008, S.14].

Die Thematik für den Einsatz von erneuerbaren Energien betrifft den Stromsektor, den Sektor zur Wärme- und Kälteerzeugung sowie den Verkehrssektor. Nach dem derzeitigen Entwurf der Richtlinie wird den Mitgliedsstaaten dabei freigestellt, wie die Kombination der Sektoren zum Erreichen des nationalen Gesamtziels erfolgt.

Als Begründung des Vorschlags bekräftigt die EU-Kommission, dass die vermehrte Nutzung von erneuerbaren Energien ein wesentliches Element des Maßnahmenbündels zur Verringerung der Treibhausgasemissionen und zur Einhaltung des Kyotoprotokolls der Vereinten Nationen und weiterer europäischer und internationaler Verpflichtungen über das Jahr 2012 hinaus darstellt.

Damit die Gesamtziele erreicht werden, sind die Mitgliedsstaaten angehalten, sich an einem Richtkurs, der mit dem Jahr 2005 charakterisiert wird und mit eindeutigen Berechnungsregeln den Weg zur Erzielung ihres Ziels vorzeichnet, zu orientieren. Zudem sind die Mitgliedsländer nach dem derzeitigen Vorschlag aufgefordert, nationale Aktionspläne mit sektorspezifischen Zielen zu erstellen [EU-Kommission, 2008].

Nationale Maßnahmen und Verordnungen

In den Mitgliedsstaaten werden nationale Maßnahmen und Verordnungen zur Umsetzung der europäischen Richtlinien erlassen. Bezüglich der Gebäuderichtlinie sind alle Mitgliedsländer aufgefordert, Mindesteffizienzstandards bei der Durchführung von größeren Sanierungen zu erlassen und einen verbindlichen Energieausweis einzuführen. Die nationalen Anforderungen können über die Richtlinien der EU hinausgehen. So sind in mehreren europäischen Staaten wie beispielsweise Deutschland energetische Anforderungen bei Sanierungen im Bestand einzuhalten (siehe auch Kapitel 8).

7.3 Wohnwirtschaftliche Parameter

Als Leitparameter für das Sanierungsmodell werden für die wohnwirtschaftlichen Aspekte die Bevölkerungsentwicklung, die Anzahl der Privathaushalte, der Wohnflächenbedarf, die Neubaurate und der Leerstand sowie der Abriss von Wohngebäuden definiert, die in den nachfolgenden Unterabschnitten für die Mitgliedsstaaten der europäischen Union (EU-15) dargestellt werden. Die Daten der Bevölkerungsentwicklung und der privaten Haushalte bis 2030 dienen zur Ableitung der zukünftigen Wohnflächennachfrage in den einzelnen Ländern.

7.3.1 Entwicklung der Wohnbevölkerung

Für den Leitparameter der Entwicklung der Wohnbevölkerung werden für die Mitgliedsstaaten der EU-15 die Informationen der nationalen statistischen Ämter verwendet. Dabei werden diejenigen Prognosen verwendet, die von einer durchschnittlichen Zuwanderung ausgehen. Diese Bevölkerungsvorausberechnungen gehen für die Mitgliedsstaaten von einer ansteigenden Bevölkerungszahl um 5,2 % von 2005 bis 2030 aus. Dies entspricht einem Bevölkerungsanstieg von mehr als 20,1 Mio. (EU-15: 405,0 Mio. von 384,9 Mio. in 2005), die in der Tabelle 7-1 dargestellt sind. Im Zeitraum von 2005 bis 2020 wird von einem Anstieg um 4 % ausgegangen. In den Jahren danach werden für die EU-15 moderatere Steigerungen prognostiziert. Innerhalb der Länder kann der Verlauf deutlich unterschiedlich ausfallen. Denn entgegen den insgesamt leicht steigenden Bevölkerungszahlen bis 2030 werden in Italien und Deutschland bereits sinkende Einwohnerzahlen ab dem Jahr 2010 erwartet. So verringert sich die Bevölkerungszahl in Deutschland um 1,6 % oder 1,65 Mio. Einwohner. In Griechenland wird ab 2015 und in Finnland ab 2020 eine Verringerung der Einwohnerzahlen prognostiziert.

Grundsätzlich kann für die einzelnen Staaten ein Trend dahingehend abgeleitet werden, dass die Zahlen der Einwohner mit der Zeit immer langsamer zunehmen und in der nachfolgenden Phase in manchen Ländern aufgrund der natürlichen Bevölkerungsentwicklung sogar abnehmen. Positive Ausnahmen mit deutlichen Einwohnersteigerungen von 2005 bis 2030 können insgesamt für Spanien mit 7,6 Mio., Großbritannien mit 5,7 Mio. und Frankreich mit 4,0 Mio. aus der Tabelle 7-1 abgelesen werden. Es gilt jedoch zu beachten, dass gerade in diesen Ländern die durchschnittlichen Zuwanderungen größer sind und die natürliche Bevölkerungsverminderung überkompensieren.

Vergleicht man die Bevölkerungszahlen nach dem Anteil der über 60-jährigen, so sind in Deutschland 2030 über 28,1 Mio. Einwohner älter als 60 Jahre. Dies entspricht einer Steigerung des Anteils der über 60-jährigen um 10 %. Sie haben im Jahr 2030 einen Anteil an der Bevölkerung von fast 35 %. Auch in den anderen Staaten steigt der Altersquotient der

über 60-jährigen um 5 bis 9 % deutlich an. Insgesamt werden in der EU-15 in 2030 insgesamt 125,6 Mio. oder 31 % der Einwohner älter als 60 Jahre sein. Dies entspricht einem prozentualen Anstieg von 2005 bis 2030 um mehr als 8,5 %. In der nachfolgenden Abbildung 7-2 ist für die EU-15 die Entwicklung von 2001 bis 2030 dargestellt.

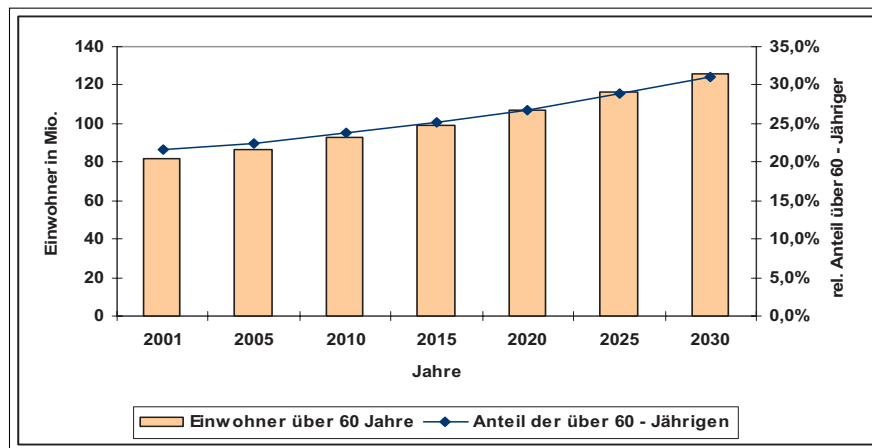


Abbildung 7-2: Entwicklung des Einwohneranteils der über 60-jährigen für die EU-15

Die Steigerung dieses Alterungsanteils der über 60 – jährigen in allen europäischen Staaten verdeutlicht die Auswirkungen des demographischen Wandels, der unter der Beachtung des "Remanenzeffekts" zu weiteren Steigerungen der zukünftigen Wohnflächennachfrage beiträgt. Vom "Remanenzeffekt" spricht man, wenn ältere Menschen nach Auszug ihrer Kinder in ihren dann eigentlich zu großen Wohnungen bleiben. Dadurch wird der Wohnflächenanteil pro Kopf, neben anderen Einflussfaktoren, zusätzlich beeinflusst.

7.3.2 Anzahl der Haushalte

Mitgliedsstaat	2001	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	in Mio.						
Österreich	8,0	8,1	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4
Belgien	10,3	10,4	10,5	10,6	10,7	10,8	10,9
Dänemark	5,4	5,4	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Finnland	5,2	5,2	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
Frankreich	59,0	60,0	61,1	62,0	62,7	63,4	63,9
Deutschland	82,4	82,9	83,1	83,1	82,8	82,2	81,2
Griechenland	11,0	11,1	11,2	11,2	11,1	11,0	10,9
Irland	3,9	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6
Italien	57,8	58,2	58,6	58,5	58,5	58,5	58,5
Luxemburg	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Niederlande	16,0	16,3	16,7	17,0	17,3	17,5	17,7
Portugal	10,3	10,1	10,3	10,4	10,5	10,6	10,7
Spanien	41,0	43,5	45,7	47,5	48,9	50,1	51,1
Schweden	8,9	9,1	9,3	9,5	9,7	9,9	10,1
Großbritannien	59,1	60,0	61,2	62,4	63,6	64,7	65,7
EU - 15	378,8	384,9	391,2	396,0	400,1	403,0	405,0

Tabelle 7-1: Bevölkerungsentwicklung in der EU-15 bis 2030

7.3.2 Anzahl der Haushalte

Die Wohnflächennachfrage wird maßgeblich von der Entwicklung der Haushaltszahlen beeinflusst. Die hier verwendeten Prognosen für die Haushaltszahlen sind grundsätzlich dem Primes Energiesystemmodell [Primes Model, 2003] entnommen worden.

Primes Model

Das Primes Model ist ein Modellierungssystem, das ein Marktgleichgewicht für das Angebot von und die Nachfrage nach Energie in den EU-Mitgliedstaaten simuliert. Durch Ermittlung der Preise aller Energieformen bestimmt das Modell das Gleichgewicht so, dass die von den Erzeugern gelieferte Menge der von den Verbrauchern nachgefragten Menge entspricht. Das Gleichgewicht ist statisch, wird jedoch auf der Zeitschiene im Rahmen dynamischer Beziehungsgefüge wiederholt ermittelt. Das Modell ist modular aufgebaut und lässt entweder die Verwendung als ganzheitliches Modell oder die Verwendung eines Teils der Module zwecks Unterstützung spezieller Energiestudien zu.

Während die Bevölkerung in der EU von 2005 bis 2030 um rund 5,2 % ansteigt, nimmt die Anzahl der Haushalte im gleichen Zeitraum um 14,2 % zu. Die größten absoluten Haushaltssteigerungen ab 2005 werden für Großbritannien mit 4,52 Mio. (+ 17,6 %) und Frankreich mit 4,11 Mio. Haushalte (+ 15,9 %) bis 2030 erwartet. Der größte prozentuale Anstieg im Zeitraum der zu beschreibenden Szenarien wird für Spanien mit 26,8 % prognostiziert und einer zusätzlichen Anzahl von 4,02 Mio. Haushalten. In Deutschland ergibt die Prognose eine mittlere Steigerung der Haushalte von 0,36 % pro Jahr und 3,57 Mio.

7.3.2 Anzahl der Haushalte

Haushalte an, während in Italien eine Steigerung um 0,37 % / a und 2,33 Mio. Haushalten unterstellt wird. Die geringsten Zuwächse bei den Haushaltszahlen werden in Griechenland mit 6,9 % erwartet.

Mitgliedsstaat	1990	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	in Mio.							
Österreich	3,0	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	3,7
Belgien	3,9	4,2	4,2	4,3	4,4	4,5	4,7	4,8
Dänemark	2,2	2,4	2,4	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7
Finnland	2,0	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,6
Frankreich	22,5	25,5	25,9	26,7	27,6	28,3	29,2	30,0
Deutschland	33,8	38,5	39,3	40,0	40,7	41,4	42,1	42,9
Griechenland	3,3	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0
Irland	1,0	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7
Italien	21,5	24,4	25,0	25,5	25,8	26,2	26,7	27,3
Luxemburg	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Niederlande	6,0	6,8	7,0	7,3	7,5	7,8	8,1	8,3
Portugal	3,3	3,6	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1
Spanien	12,3	14,0	15,0	15,9	16,7	17,5	18,3	19,0
Schweden	3,9	4,1	4,2	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9
Großbritannien	22,5	25,3	25,6	26,6	27,3	28,2	29,2	30,2
EU - 15	141,3	159,4	163,2	168,0	172,4	176,8	181,7	186,3

Tabelle 7-2: Haushaltsvorausberechnungen in der EU-15 bis 2030 [Primes Model, 2003]

Unter der Berücksichtigung der Bevölkerungsentwicklung gemäß der Tabelle 7-1 können aus den Haushaltszahlen die Kennwerte für die Personen pro Haushalt berechnet werden. In der Tabelle 7-3 sind die Durchschnittswerte der Personen pro Haushalte dargestellt.

Da die Anzahl der Haushalte in nahezu allen Ländern schneller steigt als die Bevölkerungszahl, sinkt die mittlere europäische Haushaltsgröße im Betrachtungszeitraum 2005 bis 2030 von 2,47 Personen pro Haushalt auf 2,28 (Tabelle 7-3). Dieser Trend wird verstärkt durch die frühere Selbständigkeit der Kinder, durch mehr kinderlose Ehepaare, mehr Single-Haushalte und durch die Überalterung der Bevölkerung. Die Anzahl der Haushalte ist ein Maß für die Anzahl der Wohnungen.

7.3.3 Zukünftiger Wohnflächenbedarf

Mitgliedsstaat	2001	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	Personen / Haushalt						
Österreich	2,49	2,46	2,44	2,42	2,38	2,32	2,27
Belgien	2,45	2,46	2,43	2,40	2,37	2,32	2,28
Dänemark	2,24	2,22	2,18	2,15	2,13	2,10	2,07
Finnland	2,25	2,24	2,17	2,11	2,07	2,03	2,01
Frankreich	2,31	2,32	2,29	2,25	2,21	2,17	2,13
Deutschland	2,13	2,11	2,08	2,04	2,00	1,95	1,90
Griechenland	2,96	2,95	2,93	2,89	2,83	2,78	2,71
Irland	2,99	3,01	2,96	2,91	2,85	2,79	2,75
Italien	2,36	2,33	2,30	2,27	2,23	2,19	2,14
Luxemburg	2,43	2,45	2,43	2,39	2,35	2,31	2,28
Niederlande	2,34	2,34	2,29	2,25	2,21	2,18	2,14
Portugal	2,86	2,83	2,80	2,77	2,72	2,67	2,62
Spanien	2,89	2,90	2,87	2,84	2,79	2,73	2,69
Schweden	2,16	2,15	2,13	2,11	2,11	2,09	2,07
Großbritannien	2,33	2,34	2,30	2,28	2,26	2,22	2,18
EU - 15	2,48	2,47	2,44	2,41	2,37	2,32	2,28

Tabelle 7-3 : Haushaltsgrößen nach der Anzahl der Personen pro Haushalt

7.3.3 Zukünftiger Wohnflächenbedarf

Die Nachfrage am Wohnungsmarkt wird grundsätzlich ausgehend von der demographischen Entwicklung durch die Zahl der Haushalte, den Remanenzeffekt, das Einkommen pro Kopf, die Eigenheimquote und durch die Baukosten, Zinsen sowie staatlichen Förderungen bestimmt.

Der Wohnflächenbedarf bis 2030 wird in dieser Arbeit weitestgehend aus der Entwicklung der Bevölkerung und den Haushaltsvorausberechnungen, den Haushaltsgrößen sowie den unterstellten Wirtschaftsentwicklungen nach dem Primes Modell [Primes Model, 2003] hergeleitet.

Bezüglich der Bevölkerungsentwicklung wurde eine Anpassung an die nationalen Vorausberechnungen vorgenommen. Die Nachfrage nach Wohnraum wird auf der Basis der Wohneinheiten und Wohnflächen im Jahr 2005 durchgeführt.

Zur Erfassung der Anzahl der Wohneinheiten wird in einem ersten Berechnungsschritt in Anlehnung an [Empirica, 2005] die Änderung der Haushaltsgrößen durch die Division der Quotienten von Personen pro Wohneinheit im Jahr 2005 und im Jahr t hergeleitet. Diese Änderung wird anschließend mit der Anzahl der Wohneinheiten im Jahr 2005 multipliziert. Die Veränderung der Bevölkerung gegenüber 2005 wird durch einen zusätzlichen

7.3.3 Zukünftiger Wohnflächenbedarf

Summanden erfasst, der sich aus einem Quotienten zur Abbildung der Bevölkerungsänderung in Bezug zur mittleren Haushaltsgröße zusammensetzt.

$$WE(t) = WE(t_{2005}) \cdot \Delta \left[\frac{\frac{Personen}{WE}(t_{2005})}{\frac{Personen}{WE}(t)} \right] + \Delta \left[\frac{Bev(t - t_{2005})}{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{Personen}{WE}(t_{2005}) + \frac{Personen}{WE}(t) \right)} \right]$$

$WE(t)$ = Anzahl der Wohneinheiten im Jahr (t) [-],

$WE(t_{2005})$ = Anzahl der Wohneinheiten im Jahr 2005 (t_{2005}) [-],

$Personen(t)$ = Anzahl der Personen im Jahr (t) [-],

$Bev(t)$ = Zahl der Bevölkerung im Jahr (t) [-],

$Bev(t_{2005})$ = Zahl der Bevölkerung im Jahr 2005 (t_{2005}) [-],

Gleichung 7-1: Jährliche Berechnung der Anzahl der Wohneinheiten

Die Anzahl der Wohnungen steigt demnach in der EU-15 von 2005 bis 2030 um mehr als 25 Mio. Wohneinheiten bzw. 14 % an. Rund 60 % des Anstiegs des europäischen Wohnungsbestands wird mit 15 Mio. Wohneinheiten bis 2020 vollzogen. Die größten absoluten Steigerungen der Wohnungszahlen ergeben sich nach dieser Berechnung von 2005 bis 2030 in Spanien mit 5,5 Mio. und in Frankreich sowie in Großbritannien mit jeweils rund 4,4 Mio. Wohneinheiten. In Deutschland erhöht sich der Bestand der Wohneinheiten im gleichen Zeitraum um 3,5 Mio. bzw. 9,1 %.

Mitgliedsstaat	2001	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	in Mio.						
Österreich	3,74	3,83	3,92	4,00	4,09	4,19	4,29
Belgien	4,25	4,28	4,38	4,46	4,57	4,69	4,81
Dänemark	2,47	2,49	2,57	2,61	2,65	2,70	2,74
Finnland	2,54	2,57	2,68	2,76	2,83	2,87	2,90
Frankreich	28,70	29,06	29,95	30,91	31,71	32,67	33,50
Deutschland	37,92	38,56	39,21	39,91	40,66	41,35	42,09
Griechenland	5,44	5,50	5,59	5,69	5,76	5,82	5,88
Irland	1,29	1,34	1,40	1,46	1,53	1,58	1,62
Italien	26,53	27,04	27,56	27,90	28,30	28,89	29,53
Luxemburg	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,21
Niederlande	6,65	6,78	7,07	7,32	7,56	7,80	7,99
Portugal	5,02	5,00	5,14	5,26	5,40	5,54	5,67
Spanien	20,57	21,71	23,03	24,15	25,26	26,30	27,18
Schweden	4,31	4,40	4,55	4,68	4,81	4,96	5,07
Großbritannien	25,38	25,65	26,57	27,29	28,12	29,11	30,01
EU - 15	174,97	178,40	183,79	188,59	193,44	198,66	203,50

Tabelle 7-4: Entwicklung der Wohnungszahlen bis 2030

Aus den Daten des Ausgangsjahrs 2005 wird in einem weiteren Berechnungsschritt zur Herleitung der Wohnflächennachfrage bis 2030 der Quotient der mittleren Wohnfläche pro Person bestimmt. Dabei wird im Zeitraum von 2006 bis 2030 für jedes Jahr das Produkt bestehend aus der Wohnfläche pro Person des Jahres zuvor und der Änderung der Personen pro Wohneinheit des vorangehenden Jahres in Bezug zum Berechnungsjahr ermittelt. Eine Verringerung der Personen pro Wohneinheit im Zeitraum bis 2030 führt unter der Berücksichtigung dieser Annahme zu einer Steigerung der mittleren Wohnfläche pro Person. Unabhängig von dieser Änderung wird die Auswirkung der Einkommen auf die Wohnflächennachfrage durch den Faktor des Bruttoinlandsprodukts nach [Primes Model, 2003] angenommen. Zusammengefasst ist die Berechnung in der Gleichung 7-2 dargestellt.

$$\frac{WF}{Person}(t) = \frac{WF}{Person}(t_{-1}) \cdot \Delta \left[\frac{\frac{Personen}{WE}(t_{-1})}{\frac{Personen}{WE}(t)} \right] \cdot \Delta BIP(t)$$

$$\frac{WF}{Person}(t) = \text{Mittlere Wohnfläche pro Person im Berechnungsjahr } t \text{ [m}^2\text{/Person]},$$

$$\frac{WF}{Person}(t_{-1}) = \text{Mittlere Wohnfläche pro Person im vorangehenden Jahr } t_{-1} \text{ [m}^2\text{/Person]},$$

$$\frac{Personen}{WE}(t) = \text{Anzahl der Personen pro Wohneinheit im Berechnungsjahr } t \text{ [Personen/WE]},$$

$$\frac{Personen}{WE}(t_{-1}) = \text{Anzahl der Personen pro Wohneinheit im Jahr zuvor } t_{-1} \text{ [Personen/WE]},$$

$$\Delta BIP(t) = \text{Änderung des Bruttoinlandsprodukts in } t \text{ [-]}.$$

Gleichung 7-2: Jährliche Berechnung der mittleren Wohnfläche pro Person

Die Entwicklungen der mittleren Wohnflächen pro Person bis 2030 sind in der Tabelle 7-5 für die einzelnen Mitgliedsstaaten der EU-15 aufgeführt. So steigt beispielsweise die durchschnittliche Wohnfläche pro Person in Deutschland von 39,5 m²/Person in 2005 auf 45,0 m²/Person in 2030 an. Diese Entwicklung der Pro-Kopf-Wohnfläche wird für Deutschland durch Untersuchungen in [Politiksznarien IV, 2008, S. 75] bestätigt.

Die größte Wohnflächennachfrage pro Person wird 2030 in Dänemark mit 54,1 m²/Person erwartet, während man die kleinste in Großbritannien mit 39,7 m²/Person annimmt.

7.3.3 Zukünftiger Wohnflächenbedarf

Mitgliedsstaat	2001	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	in Wohnfläche / Person						
Österreich	42,0	43,4	43,8	44,2	45,0	46,1	47,1
Belgien	37,1	37,8	38,2	38,5	39,1	39,8	40,5
Dänemark	49,3	50,5	51,5	52,1	52,7	53,3	54,1
Finnland	37,7	38,8	40,1	40,8	41,6	42,4	42,9
Frankreich	43,0	43,7	44,3	45,1	45,7	46,7	47,5
Deutschland	39,1	40,4	41,0	41,7	42,6	43,7	45,0
Griechenland	43,2	44,8	45,1	45,6	46,5	47,4	48,5
Irland	29,1	29,9	30,4	30,4	31,0	31,7	32,2
Italien	41,4	42,9	43,5	44,2	44,8	45,7	46,8
Luxemburg	42,5	43,7	44,2	44,3	45,0	45,5	46,2
Niederlande	40,7	41,4	42,3	43,1	43,9	44,7	45,3
Portugal	40,5	42,0	42,5	43,2	44,0	44,8	45,6
Spanien	45,2	46,1	46,6	47,3	48,1	49,1	49,9
Schweden	43,4	44,5	45,1	45,2	45,4	45,7	46,1
Großbritannien	36,3	36,9	37,6	37,9	38,3	39,0	39,7

Tabelle 7-5: Entwicklung der durchschnittlichen Wohnfläche in m² pro Person

Durch die Multiplikation dieser mittleren Wohnflächen pro Person mit der Bevölkerungsentwicklung gemäß der Tabelle 7-1 kann die gesamte Wohnflächennachfrage ermittelt werden (vgl. Tabelle 7-6).

Die gesamte Wohnfläche der Mitgliedsstaaten der EU-15 steigt mit diesen Vorgaben im Betrachtungszeitraum von 2005 bis 2030 um 14,6 % an und entspricht einer Wohnfläche von 2,35 Mrd. m². Verursacht wird dies durch einen weiter steigenden Lebensstandard aufgrund des im Primes-Energiesystemmodell unterstellten Wirtschaftswachstums und der damit verbundenen Einkommensentwicklung, durch die sozialen Veränderungen im familiären Bereich und durch den sogenannten Remanenzeffekt.

Die größten Steigerungen der Wohnfläche werden bis 2030 in Spanien mit 543 Mio. m², in Frankreich mit 415 Mio. m² und in Großbritannien mit 390 Mio. m² erwartet. Für Deutschland wird eine gesamte Wohnflächennachfrage von 308 Mio. m², die 9,2 % entspricht, erwartet. Aufgrund des deutlichen Bevölkerungsrückgangs in Griechenland erhöht sich die Wohnfläche nur um 6,5 % bzw. 32,5 Mio. m².

7.3.4 Neubaurate

Mitgliedsstaat	2001	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	in Mio.						
Österreich	337,7	352,9	361,3	369,3	377,8	387,7	397,0
Belgien	382,8	393,6	402,4	408,7	418,9	430,1	441,3
Dänemark	265,2	273,1	281,0	285,8	290,3	295,0	299,7
Finnland	195,9	202,8	211,1	216,0	221,4	224,9	227,1
Frankreich	2.540,1	2.622,5	2.703,7	2.793,7	2.869,1	2.959,3	3.038,1
Deutschland	3.224,9	3.344,9	3.401,7	3.467,3	3.532,1	3.591,2	3.653,8
Griechenland	473,4	495,1	502,7	510,8	517,6	522,0	527,6
Irland	114,2	122,5	127,9	131,8	137,7	142,8	147,0
Italien	2.395,3	2.499,4	2.547,9	2.582,6	2.620,5	2.675,3	2.735,8
Luxemburg	18,8	19,9	20,8	21,5	22,5	23,4	24,4
Niederlande	651,6	676,1	706,0	733,0	757,9	782,3	802,6
Portugal	416,3	425,9	437,6	451,2	463,4	475,2	487,2
Spanien	1.851,2	2.004,8	2.130,0	2.243,5	2.353,1	2.457,2	2.547,9
Schweden	386,5	403,2	417,6	428,9	441,0	454,1	465,4
Großbritannien	2.144,8	2.216,7	2.297,5	2.361,2	2.435,6	2.525,0	2.607,0
EU - 15	15.398,7	16.053,5	16.549,2	17.005,3	17.458,8	17.945,7	18.402,0

Tabelle 7-6: Wohnflächenentwicklung bis 2030 in Mio. m²

7.3.4 Neubaurate

Die jährlichen Neubauf Flächen sind nach eigenen Berechnungen und den Angaben der nationalen statistischen Ämter innerhalb der EU-15 von 1990 mit 165 Mio. m² auf 176 Mio. m² in 2001 gestiegen (insgesamt 1.859 Mio. m²). Dies entspricht einer Erhöhung um 5,7 % und einem Mittelwert von 169 Mio. m². Die Neubauf Flächen aus Deutschland betragen in diesem Zeitraum mit insgesamt 430 Mio. m² Wohnfläche fast ein Viertel der gesamten EU-Flächen. Weitere 340,5 m² Mio. oder 18 % der Neubauf Fläche wurden in Frankreich und 298,7 Mio. m² oder 16 % wurden in Spanien neu gebaut. Im Jahr 2001 wurden erstmals mehr Neubauten in Spanien und Frankreich im Vergleich zu Deutschland errichtet.

In der weiteren Untersuchung der nationalen Neubauf Flächen von 1991 bis 2001 kann festgestellt werden, dass in den größten europäischen Ländern unterschiedliche Trends abgeleitet werden können. Während in Spanien ein deutlicher Anstieg abgelesen werden kann, ist für Frankreich nur ein leichter steigender Trend und für Großbritannien ein leicht sinkender Wert festzustellen. Stärkere Verminderungen der jährlichen Fertigstellungen von Wohngebäuden können in Italien ermittelt werden. Der größte Rückgang im neu zu errichteten Bauvolumen liegt in Deutschland vor. Nach der Wiedervereinigung in

7.3.4 Neubaurate

Deutschland ist erst ein Anstieg und danach ein erheblicher Rückgang seit 1995 zu erkennen.

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
	in TWh / a										
Österreich	4,0	4,0	4,2	4,6	5,0	5,4	5,4	5,4	5,6	5,2	4,6
Belgien	6,5	6,0	6,5	7,0	7,2	5,8	6,2	6,4	5,0	5,6	5,1
Dänemark	3,0	1,7	1,7	1,2	1,1	1,2	1,2	1,5	1,6	1,5	1,5
Finnland	5,2	4,1	3,0	2,4	2,2	2,0	1,7	2,2	2,4	2,5	2,8
Frankreich	29,6	26,5	26,6	29,8	26,7	27,9	29,1	38,7	34,6	38,0	32,9
Deutschland	29,6	33,3	35,0	45,0	45,9	42,7	45,2	41,8	41,6	39,0	31,3
Griechenland	6,8	6,8	6,8	9,8	8,5	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
Irland	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Italien	15,9	14,4	14,8	13,4	13,6	13,1	11,7	11,0	10,8	10,8	10,8
Luxemburg	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
Niederlande	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
Portugal	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
Spanien	24,6	19,9	20,1	20,7	19,9	24,7	26,9	26,9	32,1	37,4	45,5
Schweden	5,9	5,1	3,1	1,8	1,1	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
Großbritannien	15,4	15,6	15,0	15,6	16,6	15,4	15,8	15,7	15,0	15,1	14,0
EU - 15	165,2	156,1	155,5	170,1	166,3	166,1	171,0	177,1	176,4	182,7	176,4

Tabelle 7-7: Neubauflächen in der EU-15 im Zeitraum 1991 bis 2001

Für die zukünftige Entwicklung der Neubauflächen, die einen starken Einfluss auf die zusätzlichen CO₂-Emissionen im europäischen Wohngebäudesektor haben, sind neben den Aspekten des Zusatzbedarfs durch steigende Haushaltszahlen auch der Erneuerungsbedarf durch Abriss und Umwidmungen von Wohnungen sowie der Leerstand im Bestand zu berücksichtigen.

Zur Abschätzung des Erneuerungsbedarfs werden die Abrisszahlen der nationalen statistischen Ämter von 1980 bis 2003 ermittelt und unter der Beachtung der veränderten Altersstruktur bis 2030 fortgeschrieben. Insgesamt werden im betrachteten Zeitraum rund 950 Mio. m² oder rund 10,5 Mio. Wohneinheiten abgerissen. Dies entspricht einer mittleren jährlichen Wohnflächenabnahme von 38,1 Mio. m². Der größte Anteil mit rund 20 % ist für Deutschland mit einer mittleren jährlichen Wohnflächenabnahme von 7,4 Mio. m² zu erwarten.

Die Umwidmungen aus den Daten der nationalen statistischen Ämter für den Zeitraum von 1990 bis 2001 stellen im Vergleich zu den Abrisszahlen nur kleine Flächenanteile dar, die mit einem Mittelwert fortgeschrieben und mit den Neubauzahlen gemeinsam verrechnet werden. Die Entwicklung des Leerstands wird für den Zeitraum von 1990 bis 2001 ermittelt und analog den Abrisszahlen bis 2030 abgebildet. Die Anteile der bewohnten Wohneinheiten variieren im Analysezeitraum von 79 % bis 98 % und liegen im europäischen Mittel bei 92 %. Daraus folgt, dass der unbeheizte Anteil mindestens 8 % beträgt.

Vor dem Hintergrund dieser Einflüsse auf die Wohnflächennachfrage werden die Neubauraten der einzelnen Mitgliedsstaaten in der Tabelle 7-8 dargestellt. Aufgrund der spezifischen demographischen Entwicklungen und ihres komplexen Netzwerkes, Wohnfläche in der Zukunft nachzufragen, können für die Jahre 2010, 2015, 2020, 2025 und 2030 entsprechende nationale Trends für die Summe der jährlichen Neubauflächen abgelesen werden. Das mittlere jährliche Neubaufächenvolumen wird gemäß den nationalen Prognosen für die EU-15 im Vergleich zum Zeitraum von 1990 bis 2001 von 169 Mio. m² pro Jahr um mehr als 20 % nach 2010 sinken. Die jährlich fertig gestellten Wohnungszahlen in der EU-15 verringern sich von 1,68 Mio. Wohneinheiten pro Jahr auf 1,29 Mio. pro Jahr bis 2020 und 1,36 Mio. pro Jahr im Jahr 2030.

Aufgrund der Altersstruktur und der rückläufigen Bevölkerungszahl sowie den geringfügig steigenden Haushaltszahlen wird bei der unterstellten Wirtschaftsentwicklung in Deutschland ein mittleres jährliches Neubaufächenwachstum von jährlich 27,7 Mio. bis 2010, 20,4 Mio. m² bis 2020 und 19,9 Mio. m² bis 2030 prognostiziert. Das entspricht einem Rückgang in Bezug auf die mittlere Neubaufäche des Zeitraums 1990 bis 2001 um mehr als 40 % bis 2030. Das jährliche Neubauvolumen sinkt in Deutschland im Analysezeitraum von 243.000 Wohnungen in 2005 auf 179.000 Wohnungen pro Jahr bis 2020 und auf 175.000 jährliche Wohneinheiten bis 2030.

7.3.4 Neubaurate

	-2010	2011 - 2020	2021 - 2030	-2010	2011 - 2020	2021 - 2030
	in Mio. m ² / Jahr			in Wohnungen / Jahr		
Österreich	4,15	3,14	3,47	41.097	31.054	34.377
Belgien	2,94	2,38	3,01	24.719	20.018	25.299
Dänemark	2,66	1,85	1,90	23.697	16.482	16.911
Finnland	2,01	1,37	0,93	22.282	15.190	10.325
Frankreich	24,17	22,66	23,39	214.685	201.278	207.753
Deutschland	24,60	20,39	19,87	242.966	178.991	174.481
Griechenland	4,53	2,58	2,13	36.349	20.724	17.091
Irland	2,52	2,00	2,04	23.996	19.059	19.414
Italien	23,21	12,81	17,28	284.775	157.185	212.037
Luxemburg	0,27	0,21	0,24	2.233	1.721	1.964
Niederlande	7,86	7,16	6,56	68.066	61.960	56.768
Portugal	3,06	3,30	3,15	34.373	37.105	35.449
Spanien	36,23	27,38	25,02	377.053	284.950	260.357
Schweden	4,37	3,24	3,38	34.141	25.294	26.411
Großbritannien	21,03	18,03	21,65	254.243	218.072	261.751
EU - 15	166,69	128,50	134,02	1.684.674	1.289.084	1.360.387

Tabelle 7-8: Wohnflächenneubau pro Jahr und Baualterklasse bis 2030 in Mio. m² und Wohnungszahlen (EU-15)

7.4 Untersuchte Szenarien

Eine dynamische Bestandsmodellierung und die Berechnungsverfahren für die Sanierungsparameter stellen die Grundlage für die Erstellung von Szenarien mit dem Sanierungsmodell dar. Zur näheren Erörterung der zukünftigen Entwicklung bis 2030 sind die Details der Szenarien zu definieren.

Referenzszenario:

In diesem fiktiven Szenario wird unterstellt, dass keine Sanierung der Gebäudehüllen erfolgt und dass keine Heizungskessel oder andere Anlagen erneuert werden. Die Verbrauchswerte im Bestand bleiben unverändert auf dem Niveau des Ausgangsjahres 2005 stehen. Berücksichtigt werden lediglich Bestandsveränderungen, die durch Abrisse und Neubauten von Wohngebäuden hervorgerufen werden. Dieses Szenario dient als rechnerisches Referenzniveau für die Einsparungen in den anderen Szenarien.

Szenario „EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie“:

In diesem Reduktionsszenario wird gefordert, dass zusätzlich zur bestehenden EU-Gebäuderichtlinie auch die Anforderungen der EU-Effizienzrichtlinie unter der Berücksichtigung der vorgeschlagenen Richtlinie der EU-Kommission zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Energiequellen umgesetzt werden. Dieses Szenario soll den aktuellen Stand der Politik mit dem Ziel analysieren, ob die bereits implementierten Maßnahmen ausreichen und welche zusätzlichen Maßnahmen zur Erfüllung der Klimaschutzziele notwendig sind.

Die Realisierung dieses Szenarios setzt neben den Einsparungen durch die Gebäuderichtlinie weitere Maßnahmen voraus. Als zusätzliche Maßnahmen wird im Szenario eine Ausweitung der bestehenden Richtlinie auf den gesamten Wohngebäudebestand vorgenommen. Zudem wird der Anteil der erneuerbaren Energien von derzeit 8,5 % auf 20 % bis 2020 mit einem Ausnutzungsfaktor von 60 % berücksichtigt. Dies bedeutet, dass der Anteil der Erneuerbaren bis 2020 auf 15 % und bis 2030 auf 20 % ansteigt.

Für die Minderungsmaßnahmen wird vorausgesetzt, dass die Anforderungen nach den nationalen Verordnungen für Neu- und Altbauten gelten. Bei Ländern, die trotz der Gebäuderichtlinie bisher keine Bestimmungen zu Mindeststandards für den Wohngebäudebestand erlassen haben, werden die geltenden Anforderungen der Neubauten angesetzt. Nach der Gebäuderichtlinie wird für das Szenario weiterhin angenommen, dass die nationalen Anforderungen alle fünf Jahre überprüft werden und an die Erkenntnisse des technischen Fortschritts angepasst werden. Die Verbesserung der technischen Anforderungen und des Sanierungsverhaltens wird grundsätzlich durch eine jährliche, mittlere Steigerung der Potenzialausnutzung um 1,0 % ab 2008 berücksichtigt.

Szenario „Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren“:

In diesem Szenario wird gefordert, dass die CO₂-Emissionen bis 2030 im Vergleich zu 1990 um mehr als 40 % reduziert werden. Zur Realisierung dieses Szenarios wird die Effizienz energetischer Sanierungen erhöht. Zur Verstärkung der energetischen Sanierung werden die nationalen energetischen Anforderungen in zwei Stufen ab 2012 und 2021 verschärft. Der verstärkte Einsatz von Erneuerbaren wird durch die Steigerung des Anteils auf 30 % bis 2020 und 40 % bis 2030 berücksichtigt. Für die Sanierung der Fenster werden in der Regel europaweit maximale Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) von rund 1,0 festgeschrieben.

Im Szenario wird für die Sanierung der Heizkessel unterstellt, dass der Erneuerungszyklus ab 2012 von durchschnittlich 27 Jahren auf 18 Jahre um ein Drittel vermindert und das der Austausch nur noch durch hocheffiziente Brennwertkessel erfolgt. Weitere Emissionssenkungen werden durch die Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien angenommen.

7.5 Energieträgerstruktur

Die Energieträgerstrukturen für den Wohngebäudebereich werden für das Sanierungsmodell nach den Angaben in der Odyssee-Datenbank von [Enerdata, 2003] für das Jahr 2001 länderweise vorgegeben. Auf der Grundlage des European Energy and Transport-Trends to 2030 [Primes Model, 2003] werden die Trends für die Energieträger festgelegt. Für das Ausgangsjahr 2005 werden aus diesen Angaben sowie den nationalen Abriss- und Neubauzahlen die Startwerte für die Szenarien in den Mitgliedsstaaten ermittelt. In der Tabelle 7-9 sind die Energieträgerstrukturen der einzelnen Länder differenziert nach Anteilen und temperaturbereinigten Raumwärmeverbräuchen aufgelistet.

Innerhalb der EU-15 ist der Gebrauch von Gas für die Raumwärmeerzeugung demnach mit 977 TWh bzw. 47,3 % am Gesamtverbrauch im Jahr 2005 am größten. Der Anteil des Öls beläuft sich in 2005 auf 27,1 % bzw. 561 TWh. Der Anteile von Kohle für die Raumwärmeerzeugung in der EU-15 betragen 2,3 % bzw. 48 TWh. Rund 7 % der Raumwärme in der EU-15 wurde in 2005 durch Strom erzeugt.

Hinsichtlich der Anteile der Energieträger fällt auf, dass der Gaseinsatz in den Niederlanden mit 98,4 %, in Großbritannien mit 79,8 % und in Italien mit 67,7 % überdurchschnittlich hoch ist. In Griechenland ist der Einsatz von Öl mit 73,4 % deutlich über dem europäischen Mittel von 27,1 %. Überdurchschnittlich ist der Einsatz von Strom in Schweden mit 35 % und in Finnland mit 17,1 %. Ein verstärkter Einsatz von Kohle ist in Irland mit 21,9 % und 5 TWh

festzustellen. Der Anteil der Erneuerbaren beträgt in der EU-15 im Jahr 2005 ungefähr 16,3 % bzw. 339 TWh.

	Energieträgerstruktur 2005 (temp.bereinigt)												
	in %						in TWh						Summe
	Gas	Öl	Kohle	Heat	Wood	Strom	Gas	Öl	Kohle	Heat	Wood	Strom	
Österreich	22,8	33,5	4,0	8,3	27,4	4,0	14,6	21,4	2,5	5,3	17,5	2,6	63,9
Belgien	40,5	35,8	2,4	0,2	9,6	11,5	36,0	31,8	2,1	0,1	8,5	10,2	88,8
Dänemark	19,5	21,5	0,0	42,9	11,3	4,8	6,9	7,6	0,0	15,1	4,0	1,7	35,2
Finnland	0,6	21,0	0,3	35,5	25,5	17,1	0,2	6,9	0,1	11,7	8,4	5,6	32,9
Frankreich	36,3	25,4	2,5	0,0	24,5	11,3	135,2	94,7	9,2	0,0	91,3	42,0	372,3
Deutschland	40,8	38,6	1,6	6,8	8,3	3,8	249,8	236,9	10,0	42,0	51,1	23,2	613,1
Griechenland	0,4	73,4	0,0	0,9	19,2	6,2	0,1	27,7	0,0	0,3	7,2	2,3	37,7
Irland	18,0	36,8	21,9	0,0	21,7	1,6	4,1	8,4	5,0	0,0	5,0	0,4	22,8
Italien	67,7	25,1	0,3	0,0	6,2	0,8	158,5	58,7	0,7	0,0	14,5	1,8	234,2
Luxemburg	37,1	48,8	1,7	0,0	2,7	9,8	2,1	2,8	0,1	0,0	0,1	0,6	5,7
Niederlande	98,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	82,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	83,7
Portugal	64,7	2,1	0,0	0,0	27,7	5,6	5,6	0,2	0,0	0,0	2,4	0,5	8,6
Spanien	13,1	40,0	0,2	0,0	35,5	11,2	9,2	28,0	0,2	0,0	24,9	7,9	70,1
Schweden	1,5	17,2	0,0	29,4	16,9	35,0	0,9	9,9	0,0	16,9	9,7	20,1	57,5
Großbritannien	79,8	7,7	5,2	0,0	0,7	6,6	271,9	26,2	17,6	0,0	2,4	22,5	340,5
EU - 15	47,3	27,1	2,3	4,4	11,9	6,9	977,0	561,0	48,0	92,0	247,0	143,0	2.067,0

Tabelle 7-9: Energieträgerstrukturen der Mitgliedsstaaten für die Raumwärmeerzeugung im Jahr 2005

In den Szenarien wird für die Entwicklung der nationalen Energieträgerstrukturen nach 2005 in allen Ländern unterstellt, dass die Effizienz der eingesetzten Raumwärme linear steigt und der Anteil von erneuerbaren Energien durch die Substitution von Gas und insbesondere Öl zunimmt. Dabei sinkt der Anteil von Kohle sowie Strom für die Raumwärmeerzeugung auf ein Mindestmaß. Im Szenario „Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren“ wird der Einsatz regenerativer Energien (Energieträger Heat und Wood) auf 40 % in 2030 verdoppelt und der Einsatz von Strom und Kohle nochmals deutlich reduziert.

In Deutschland sinken beispielsweise in diesem Szenario gegenüber den Anteilen der Energieträgerstruktur im Jahr 2005 die Verbrauchsanteile für Gas und Öl um 10,8 und 14,1 %. Im Szenario EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie sinken die Anteile für Gas und Öl nur um 2,9 und 4,6 %.

7.5 Energieträgerstruktur

Szenario	EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie						Forcierte energetische Sanierung und EE					
	Energieträgerstruktur 2030 (temp.bereinigt)											
	in %											
	Gas	Öl	Kohle	Heat	Wood	Strom	Gas	Öl	Kohle	Heat	Wood	Strom
Österreich	21,6	29,5	3,7	14,2	28,5	2,4	18,6	27,4	3,3	18,8	31,6	0,3
Belgien	38,5	31,6	2,2	9,1	11,5	6,9	33,1	29,3	2,0	17,7	16,6	0,8
Dänemark	18,5	19,0	0,0	47,4	12,1	2,9	15,9	17,6	0,0	51,3	14,6	0,3
Finnland	0,6	18,6	0,3	44,8	25,4	10,3	0,5	17,2	0,3	55,2	25,5	1,2
Frankreich	34,5	22,4	2,3	7,6	26,1	6,8	29,7	20,8	2,1	15,5	30,8	0,8
Deutschland	38,8	34,1	1,5	13,0	10,2	2,3	33,3	31,6	1,4	17,7	15,8	0,3
Griechenland	0,3	64,7	0,0	12,0	19,1	3,7	0,3	60,0	0,0	20,0	19,2	0,4
Irland	17,1	32,5	10,2	16,6	22,5	1,0	14,7	30,1	3,6	26,5	24,8	0,1
Italien	64,4	22,1	0,3	3,3	9,3	0,5	55,4	20,5	0,2	5,3	17,9	0,1
Luxemburg	35,3	43,0	1,5	9,8	4,4	5,9	30,3	39,9	1,4	18,3	9,1	0,7
Niederlande	93,6	0,0	0,0	3,8	1,6	0,9	80,5	0,0	0,0	13,4	5,9	0,1
Portugal	61,5	1,8	0,0	2,7	30,6	3,4	52,9	1,7	0,0	5,5	38,9	0,4
Spanien	12,5	35,3	0,2	9,2	36,0	6,8	10,8	32,7	0,2	17,7	37,6	0,8
Schweden	1,4	15,1	0,0	45,3	16,9	21,1	1,2	14,0	0,0	65,1	17,1	2,5
Großbritannien	75,9	6,8	2,4	6,3	4,4	4,0	65,3	6,3	0,8	11,9	14,6	0,5

Tabelle 7-10: Energieträgerstrukturen der Mitgliedsstaaten für die Raumwärmeerzeugung in den Szenarien des Jahres 2030

8. Klimaschutzpolitik in der Europäischen Union

8.1 Internationale Klimaschutzpolitik

Auf dem Weltgipfel für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro unterzeichneten 154 Staaten die UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC). Das oberste Ziel der UNFCCC ist die Begrenzung der Treibhausgas-Konzentrationen (THG) in der Atmosphäre auf einem Niveau, das eine gefährliche, anthropogen bedingte Störung des Klimasystems verhindert. Jährlich stattfindende Vertragsstaatenkonferenzen (Conferences of the Parties, COP) dienen dazu, festzulegen, mit welchen Maßnahmen die Klimaschutzziele der Klimarahmenkonvention erreicht werden sollen. Mit Unterzeichnung des sogenannten "Kyoto-Protokolls" (KP) auf der dritten Vertragsstaatenkonferenz in Kyoto (COP3) verpflichteten sich die in Annex B des KP aufgeführten Industriestaaten auf rechtlich verbindliche Minderungsziele für ihren THG-Ausstoß [UN, 1997]. Das im Februar 2005 in Kraft getretene Kyoto Protokoll schreibt fest, dass die 39 Vertragsstaaten (Annex B-Länder) ihre Treibhausgasemissionen bis 2012 um 5 % gegenüber 1990 verringern.

Auf der Vertragsstaatenkonferenz in Nairobi (COP 12) wurde bereits im Jahr 2006 der Planungsprozess für ein Nachfolgeabkommen eröffnet und auf der Weltklimakonferenz in Bali im Dezember 2007 wurde ein konkretes Mandat für die Verhandlungen zu einem neuen Weltklimaschutzvertrag verabschiedet. Nach dem derzeitigen Plan soll spätestens im Jahr 2009 auf der Vertragsstaatenkonferenz in Kopenhagen (COP 15) ein verbindliches Abkommen zur Senkung der CO₂-Emissionen getroffen werden.

An ein Post-Kyoto-Abkommen nach 2012 werden aufgrund des 4. Berichts des Weltklimarats (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC), wonach sich die Welt-Mitteltemperatur durch die Klimaveränderung bereits um 0,7 °C erhöht hat, große Erwartungen an die Reduktionsziele gestellt [vgl. IPCC, 2007]. Derzeitig wird diskutiert, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 40 % gegenüber 1990 zu verringern. Die in Bali verabschiedete Roadmap sieht für ein beschlussreifes Abkommen dabei mess- und verifizierbare Reduktionsverpflichtungen der Industrieländer (ausgehend von nationalen Gegebenheiten), Maßnahmen der Entwicklungsländer im Rahmen der nachhaltigen Entwicklung sowie Maßnahmen und Anreize zur Verhinderung der Abholzung in Entwicklungsländern vor. Ein wichtiger Baustein soll die Anpassung an den Klimawandel durch eine verstärkte internationale Zusammenarbeit und der Aufbau von Know-how und Gegenstrategien darstellen. Der Technologietransfer und die Finanzierung von Vermeidungsstrategien sollen weitere Bestandteile sein.

8.2 Europäische Klimaschutzpolitik

Die Europäische Union hat sich mit Unterzeichnung des Kyotoprotokolls dazu verpflichtet, ihren Treibhausgasausstoß in der ersten Verpflichtungsperiode 2008-2012 um 8 % gegenüber dem Basisjahr 1990 zu senken. Im Juni 1998 einigten sich die europäischen Staaten auf eine Lastenverteilung zur Erreichung des EU-weiten Emissionsminderungsziels. In diesem "EU Burden Sharing" übernimmt beispielsweise Deutschland eine Minderungsverpflichtung von 21% gegenüber 1990 und trägt damit drei Viertel der insgesamt zu erbringenden europäischen Minderungsleistung.

Nach der aktuellen Studie der europäischen Umweltagentur werden einige Mitgliedstaaten ihr Kyoto – Ziel verfehlen. In der Abbildung 8-1 sind für die einzelnen Mitgliedsländer mit Stand 2005 die Abweichungen vom Kyotoziel aufgeführt [EEA, 2007, S. 10]. Die größten Abweichungen weisen Spanien, Österreich und Luxemburg auf, während Frankreich, Finnland, Großbritannien und Schweden ihre Zielvorgaben erfüllt haben. In Deutschland wurden in 2005 18,7 % von 21 % bis 2012 erreicht.

Einen sehr wichtigen Stellenwert erhalten im Rahmen der nationalen Minderungsziele die CO₂-Emissionen, weil sie der größte Emissionsträger sind. Der Wohngebäudesektor hat einen Anteil am jährlichen Endenergieverbrauch von mehr als 25 % [Eurostat, 2009] und ist damit hinter dem Industrie- und Verkehrssektor der drittgrößte Verbraucher. Berücksichtigt man die erheblichen Energieeinsparpotenziale, wie in Kapitel 2 berechnet, so sind in diesem Verbrauchersektor verstärkte Anstrengungen zur Verringerung des Energiebedarfs und zum Erreichen der nationalen Klimaschutzziele notwendig. Aus diesem Grund hat die EU für den Gebäudesektor die Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EU-Gebäuderichtlinie) erlassen. Derzeit wird u.a. eine weitere Verschärfung dieser Gebäuderichtlinie diskutiert.

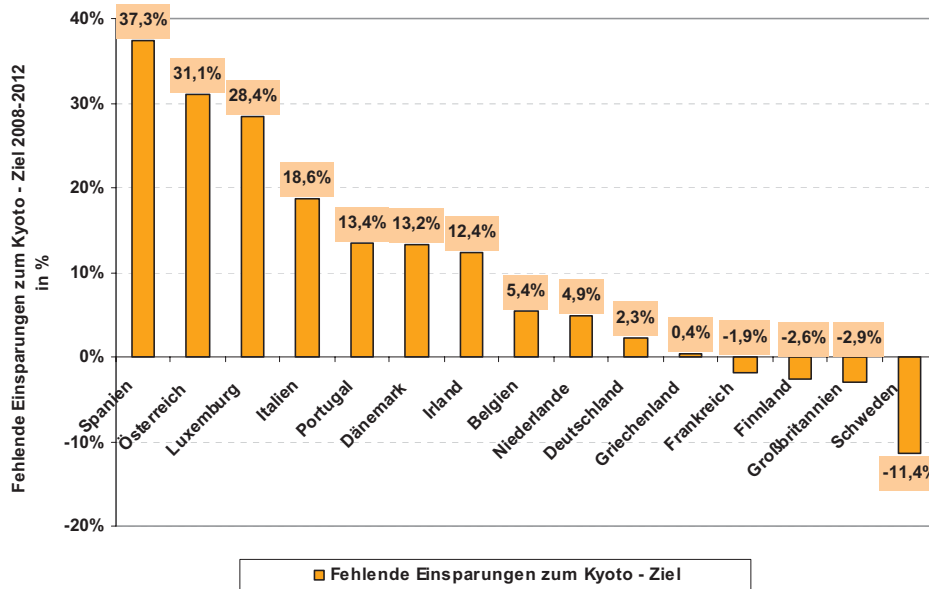


Abbildung 8-1: Abweichungen der einzelnen EU-15-Länder vom Kyotoziel

In Bezug auf die Postkyotophase hat die europäische Union in 2007 im Rahmen der halbjährlichen Tagungen der Staats- und Regierungschefs und der Tagung des Europäischen Rates erstmalig verbindliche Zielvereinbarungen getroffen. Dabei soll unabhängig von internationalen Abkommen eine Verringerung der Treibhausgasemissionen bis 2020 von mindestens 20 % gegenüber 1990 innerhalb der EU erreicht werden. Der Anteil der Energieversorgung aus erneuerbaren Energiequellen soll in der EU im Jahr 2020 mindestens 20 % (gegenüber heute 8,5 %) betragen und die Energieeffizienz um 20 % gesteigert werden. Bei internationaler Einigung auf ein Postkyotoabkommen wird eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 30 % bis 2020 gegenüber dem Ausgangsjahr 1990 angestrebt.

Infolgedessen wurde auf dem EU-Gipfel im März 2008 eine neue Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Energien auf Vorschlag der EU-Kommission bekräftigt. Diese Richtlinie soll im Jahr 2010 in Kraft treten und den einzelnen Mitgliedsstaaten differenziert nach den unterschiedlichen Ausgangsbedingungen in den Ländern unterschiedliche Zielvorgaben gemäß dem derzeitigen Entwurf der EU-Kommission vorschreiben [Piebalgs, 2008, S. 13, EU-Kommission, 2008].

Die Klimaschutzpolitik im Wohngebäudesektor wird vor diesem Hintergrund auf europäischer Ebene vor allem durch die EU-Gebäuderichtlinie, die Richtlinie zur Steigerung der Energieeffizienz sowie die vorgeschlagene Richtlinie zur Förderung der Nutzung von erneuerbaren Energien geprägt. Zur Umsetzung dieser Richtlinien werden auf der nationalen

Ebene Verordnungen und Gesetze für die Errichtung von Neubauten und die Durchführung von energetischen Sanierungen bei Altbauten erlassen. Zur Erhöhung der Sanierungstätigkeiten werden durch verschiedene Anreiz- und Modernisierungsprogramme zusätzliche staatliche Instrumente zur Minderung der CO₂-Emissionen eingesetzt. Im Moment wird zudem eine Ausweitung des Geltungsbereichs der EU-Gebäuderichtlinie und eine Anpassung in Bezug auf Sanierungen von Gebäuden mit einer Nutzfläche unter 1.000 m² diskutiert. Die Energieausweise und die Inspektionen der Heizungs- und Klimaanlage sollen dabei gestärkt werden [Piebalgs, 2008, S. 15].

Eine differenzierte Betrachtung der derzeitigen und geplanten Maßnahmen zur Verminderung des Raumwärmebedarfs wird in den folgenden Abschnitten ausgehend von den Rahmenbedingungen der europäischen Richtlinien auf nationaler Ebene durchgeführt und anschließend auf die europäische Ebene übertragen.

8.3 Nationale Klimaschutzpolitik der Mitgliedsstaaten

Energiestandards für Gebäude zählen bei konsequentem Vollzug grundsätzlich zu den wirksamsten und effizientesten Maßnahmen der öffentlichen Hand im Energiebereich. Gegenstand der Untersuchung sind hier deshalb die Energiestandards für Gebäude. Diese Standards sind hier als Vorschriften definiert, die der zuständige Gesetzgeber als verbindlich erklärt hat. Diese lassen sich mittels dreier Kriterien beschreiben: Es sind dies 1. die Entwicklungsgeschichte, 2. die technische Ausgestaltung sowie 3. der Vollzug und die Kontrolle, die voneinander abhängig sind und sich gegenseitig beeinflussen.

Entwicklungsgeschichte

Die heutige Ausgestaltung der Standards ist das Resultat einer langjährigen Entwicklungsgeschichte, an der verschiedene Akteure beteiligt sind. Eine Reihe von EU-Ländern ist seit Ende der Siebzigerjahre bereits bei der vierten Generation von Standards angekommen. Die EU-Gebäuderichtlinie schreibt das Prinzip der regelmäßigen Anpassung von Gebäudestandards geradezu fest. Während einige Länder einheitliche Standards für das gesamte Land festlegen, wie zum Beispiel Deutschland, weisen andere eine Differenzierung der Standards nach Regionen (Österreich nach Bundesländern, Belgien nach Regionen) oder noch kleineren Verwaltungseinheiten (Italien) aus. Hierbei ist jedoch zu differenzieren, ob sich die Natur des Standards unterscheidet, wie zum Beispiel in den Regionen von Belgien, oder lediglich die festgelegten Grenzwerte (z.B. wegen klimatischer Unterschiede in Italien).

Technische Ausgestaltung

Es kann zum Beispiel unterschieden werden zwischen „Komponentenstandards“, welche individuelle Grenzwerte des Wärmedurchgangs für einzelne Materialien und Gebäudekomponenten vorschreiben, oder „Energy Performance“ Standards, die im Idealfall alle Gebäudefunktionen, einschließlich der Stromverbraucher umfassen und zusätzlich die erneuerbaren Energien integrieren. Möglich ist auch eine Unterscheidung zwischen Endenergiestandards, Primärenergiestandards und CO₂-Standards. Bei der Schärfe der Standards geht es um die Anforderungen der Standards an die Wärmedämmung der Gebäude.

Kontrolle und Vollzug

Ein wichtiger Stellenwert kommt der Umsetzung von Mindestanforderungen an die Bauteile von Neubauten und energetischen Sanierungen im Bestand zu. Neben dem Erlass von Mindestanforderungen und deren Verschärfungen sind insbesondere die Kontrolle und der Vollzug entscheidende Kriterien zur Erzielung von Energieeinsparpotenzialen. Denn in der Praxis kommt es zu mehr oder weniger großen Umsetzungsdefiziten. Als Kennzahl hierfür ist die in Kapitel 6 definierte Potenzialausnutzung anzusehen.

Innerhalb der europäischen Staaten fallen die nationalen Potenzialausnutzungen sehr unterschiedlich aus. Während in den nordeuropäischen Mitgliedsländern Schweden und Finnland trotz der hohen Mindestanforderungen nach der Zeitreihenanalyse von 1990 bis 2001 die Potenzialausnutzung mit 99 % und 78 % sehr hoch sind, liegt in den südeuropäischen Ländern die Potenzialausnutzung mit 9 % in Italien und nur 3 % in Portugal sehr niedrig. Die mitteleuropäischen Staaten, mit Ausnahme von Luxemburg, weisen in der gleichen Analyse für die nationale Potenzialausnutzung Werte dazwischen aus. Die Werte für alle Länder sind in Abbildung 6-10 zusammengestellt. Die unzureichenden Zahlen zeigen, dass hier europaweit noch ein erheblicher Handlungsbedarf für eine Verbesserung der energetischen Sanierung besteht.

In den folgenden Unterabschnitten werden die länderspezifischen Details der Klimaschutzaktivitäten und Anforderungen an die Wohngebäude für die einzelnen Mitgliedsstaaten analysiert.

8.3.1 Österreich

Politischer Hintergrund

Die Energiestandards in Österreich basieren formal auf den Bauordnungen der einzelnen Länder. Alle neun Bundesländer verfügen über eine eigene Bauordnung, die durch die jeweiligen Parlamente beschlossen werden. Die entsprechende Verordnung kann durch die Exekutive der Länder erlassen werden. Auf der nationalen Ebene besteht keine gesetzliche Grundlage, für alle Bundesländer einheitliche Energiestandards im Baubereich festlegen zu können. Faktisch bestehen neben der Bauordnung weitere energietechnisch relevante Vorschriften im Rahmen der Wohnbauförderung (WBF). Die Kompetenz zur Verteilung der Mittel der WBF liegt bei den Ländern. Der Umfang der WBF lag im Jahr 2000 bei insgesamt 2,83 Milliarden Euro und ist in den letzten fünf Jahren etwa konstant geblieben.

Bis heute haben alle neun Bundesländer sowohl im Sanierungs- als auch im Neubaubereich energietechnische Anforderungen im Zusammenhang mit der WBF definiert.

Energiestandards der Bauordnungen

Die Bundesländer haben unterschiedlich früh energierelevante Vorschriften in die Bauordnung aufgenommen. Ab 1980 bestand eine Vereinbarung, welche auf Artikel 15a der Bundesverfassung beruht und alle Länder zu minimalen Anforderungen im Rahmen der Bauordnung verpflichtet. Artikel 15a der Bundesverfassung bietet die Grundlage für Vereinbarungen zwischen dem Bund und den Ländern, die für das ganze Land verbindlich sind.

Energiestandards der Wohnungsbauförderungen

Ähnlich heterogen wie im Rahmen der Bauordnung verlief die Entwicklung bei den energetischen Anforderungen im Bereich der WBF. Heute stellen alle Bundesländer Anforderungen an Neubauten als auch an Sanierungen. WBF wird nur ab einem bestimmten Niveau gewährt, je besser das Gebäude ist, desto höher die Förderung.

Die Anforderungen im Rahmen der WBF gehen immer über den Stand der Bauordnungen hinaus. In den meisten Fällen werden zusätzlich zu den Energiekennzahlen weitere energie- und klimaschutzrelevante Maßnahmen finanziell unterstützt.

Energiestandards der Bundesländer

Nimmt man die U-Werte als Basis, so präsentiert sich der Stand der Energiestandards im Baubereich bis 2006 wie in der Tabelle 8-1 dargestellt. Im Rahmen der EU-Gebäuderichtlinie wurde zur Vereinheitlichung der Anforderungen ein Harmonisierungsprozess eingeleitet. Mit der Richtlinie 6 des OIB über Energieeinsparung und Wärmeschutz (OIB-300.6.038/07)

8.3.1 Österreich

wurden im April 2007 die mindestens einzuhaltenden Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile festgehalten, die von den Bundesländern umzusetzen sind [OIB, 2007].

Bauteile	Unterster Wert	Oberster Wert
	W/(m ² K)	
Aussenwand	0,35	0,50
Wände gegen unbeheizt	0,35	0,70
Wände gegen beheizt	0,90	1,69
Decken gegen Aussenluft	0,20	0,25
Decken gegen unbeheizt	0,35	0,45
Decken gegen beheizt	0,40	0,90
Fenster	1,70	1,90
Aussentüren	1,70	1,90
Erdberührte Wände	0,35	0,50
Erdberührte Fußböden	0,29	0,50

Tabelle 8-1: Maximal zulässige U-Werte der länderspezifischen Bauordnungen bei Neubauten in Österreich

Einführung des Energieausweises

Die rechtliche Umsetzung des Energieausweises gemäß der EU-Gebäuderichtlinie erfolgt bezüglich technischer Regeln und Berechnungsmethoden im Rahmen der baurechtlichen Kompetenzen der Länder. Demnach sind Energieausweise für Neubauten in Österreich seit Januar 2008 obligatorisch. Die Vorlage von Energieausweisen ist beim Verkauf oder der Vermietung von Bestandsgebäuden ab 2009 verpflichtend [Jilek, 2007].

Vollzug

Aufgrund der vorliegenden Zahlen wird davon ausgegangen, dass derzeit pro Jahr bei rund 1,0 % der Gebäude bzw. 1,3 % der Wohnungen eine thermische Gebäudehüllensanierung (Fassaden und Fenster) stattfindet. Wird davon ausgegangen, dass bei der thermischen Gebäudehüllensanierung rund 40 % an Energie eingespart wird, so ergibt sich aus der gegenwärtigen jährlichen Sanierungsrate eine Energieeinsparpotenzial von rund 400 GWh [EVA & UBA, 2006, S. 78].

Über die Güte des Vollzugs und über den Umfang der dabei eingesetzten Hilfsmittel gibt es keine zuverlässigen Angaben [Eichhammer & Rieder, 2005, S. 55ff.]. Demnach sind sowohl die rechnerische Überprüfung der Energiestandards wie auch die Kontrolle schwach ausgeprägt oder nicht vorhanden. Zur Steigerung der Energieeffizienz wird ein Anstieg der Energieintensität von 1 % pro Jahr durch die normalen Veränderungen im Wohngebäudesektor ohne explizite energiepolitische Maßnahmen erwartet. Die Maßnahmen

der Klimaschutzstrategie würden bei der vollständigen Umsetzung zur Reduktion der CO₂ – Emissionen von 4 Mio. Tonnen pro Jahr führen [Jansson, 2005, S.55].

8.3.2 Belgien

Politischer Hintergrund

Eine effektive Energieeffizienz-Politik ist in Belgien kompliziert, weil die Kompetenz zur Energieeffizienz sich bei den drei Regionen (Flandern, Wallonien und Brüssel) befindet, während die Verantwortung für die Bestimmung der Energiepreise bei dem nationalen Landesparlament liegt. Die Energiestandards für die Wohngebäude in Belgien werden folglich durch die Regionen bestimmt.

Energiestandards

Die thermischen Anforderungen an die Isolation von Wohngebäuden sind nicht in allen Regionen gleich, obwohl alle Anforderungen auf dem nationalen Ansatz des Standards NBN 62-301 beruhen. Dieser definierte Standard geht einerseits von einem Faktor aus, der sich aus dem Quotienten des beheizten Gebäudevolumens in Bezug auf die Gebäudehüllenfläche bestimmen lässt, und andererseits von der Ermittlung maximal zulässiger U-Werte abhängt. Nach dem derzeitigen Stand der Anforderungen in den einzelnen Regionen gelten die folgenden maximal zulässigen U-Werte [ISIS, 2006] (*je nach Region):

Bauteile	Maximaler Wert W/(m ² K)
Fassade	0,60
Dach	0,40
Keller	0,60
Fenster	2,5 - 3,5*

Tabelle 8-2: Maximale Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile

Diese maximal zulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten gelten sowohl für Neu- als auch für die Sanierung von Altbauten.

Aus einer Evaluierung der Flämischen Administration zur Steigerung der Energieeffizienz in geht hervor, dass zwischen den Anforderungen und den Umsetzungen in der Realität erhebliche Differenzen vorliegen [Vandroogenbroeck, 2002].

In einem Länderreport zur Evaluierung der Energieeffizienzprogramme werden beispielsweise die Programme zur Umsetzung der regionalen Verordnungen, der Energieinformationszentren und zur rationaleren Nutzung der Energie detailliert erörtert

[Groote, 2005]. Diese Analyse belegt die Dokumentationsdefizite, da nur wenige Evaluierungen in der Vergangenheit erfolgt sind, und die mangelnde Datenlage.

Seit dem Jahr 2000 ist in Belgien die Mehrwertsteuer für die Durchführung von Sanierungsarbeiten an Wohngebäuden von 21 auf 5 % reduziert.

Mit dem Gesetz des flämischen Parlaments zu Energiestandards und Energieausweisen in Wohngebäuden zum 01. Januar 2006 wurde ein wichtiger Schritt zur Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie unternommen. Neben den Energiestandards fordert das Gesetz die Einführung von Energieausweisen, Informationen über den aktuellen Energieverbrauch und wirtschaftlich tragfähige Energieeinsparmaßnahmen. Derzeit gilt diese Regelung nur für Neubauten, weil erst mit der Übergangsfrist von zwei Jahren genügend Fachpersonal zur Realisierung dieser Energieausweise bereitgestellt werden kann [ISIS, 2006].

Vollzug und Kontrolle

In Verbindung mit der EU-Gebäuderichtlinie zur Inspektion und zur Sanierung der Heizungsanlage wurden in Vlandern eine jährliche Kontrolle, striktere technische Anforderungen und ein besseres Überwachungssystem zur Begrenzung der Emissionen eingeführt.

In den Regionen Wallonien und Brüssel wurde die Umsetzung der Richtlinie der EU in 2007 vorgenommen. Derzeit werden Ausführungsanordnungen für die Mindestanforderungen bei der Durchführung von Sanierungen im Bestand und die Inspektion von Heizungsanlagen vorbereitet [Fourez, 2007]. In Belgien hat sich gezeigt, dass in den Neunzigerjahren nur etwa 10-20% der neuen Gebäude die Anforderungen der Standards erfüllten [Eichhammer, 2003, S. 65].

8.3.3 Dänemark

Entwicklung der Energiestandards

Die ersten Energiestandards entstanden in Dänemark im Zusammenhang mit Subventionen von Sozialwohnungen, die zwischen 1949 bis 1961 entrichtet worden sind. Bereits 1961 wurden bestimmte energetische Anforderungen an Gebäude in die Baugesetzgebung übernommen, allerdings hatten diese lediglich regionale Gültigkeit und die U-Werte für Gebäudeteile waren primär aus Gründen der Bauhygiene erlassen worden. Auf nationaler Ebene wurden die U-Werte erst ab 1972 verbindlich erklärt. Die Bauverordnung differenzierte dabei nach großen und kleinen Wohngebäuden (primär Einfamilienhäuser), für die unterschiedliche maximale U-Werte definiert wurden.

1977 wurde die Bauverordnung erstmals revidiert und die U-Werte verschärft. Gleichzeitig wurde die Möglichkeit geschaffen, einen Energienachweis auf Basis der gesamten Transmissionsverluste zu erstellen. 1985 wurde das Verfahren zur Berechnung von Standards für kleine Gebäude angepasst. Die Standards selber wurden nicht verschärft. Hingegen wurde das Berechnungsverfahren weitgehend der [EN 832, 2003] angepasst. Für große Gebäude brachte diese Revision keine Veränderung mit sich. Gleichzeitig wurde der Bau von Niedrigenergiehäusern gefördert, indem diese vom Anschlusszwang an Fernwärme oder Gas befreit wurden.

Eine zweite Verschärfung der Standards wurde erst 1995 vorgenommen und zwar zunächst nur für große Gebäude. Die U-Werte wurden dabei um 25 Prozent reduziert. Für kleinere Gebäude wurde die Verschärfung der Standards drei Jahre später im Jahr 1998 vollzogen. Die dänische Energiebehörde hat die Standards 2006 um weitere 25 Prozent verschärft [Eichhammer & Rieder, 2005, S. 45f.].

Entwicklung der Energieausweise

Dänemark weist im Vergleich der EU-Staaten die längste Tradition im Bereich der Energieausweise im Sinne einer Ergänzung zu den Energiestandards für Gebäude auf. 1981 wurde ein zwingendes Audit für Gebäude eingeführt, die vor 1979 gebaut worden sind. Das Audit war durch eine ausgewiesene Fachperson durchzuführen [Christensen et al., 1995, S. 38ff.]. Das Verfahren des Energieaudits wurde in der Folge überarbeitet und 1997 ein obligatorischer Energieausweis eingeführt [Wittchen, 2003, S. 91, Laustsen & Lorenzen, 2003].

Hinsichtlich der Forderung der EU-Gebäuderichtlinie nach einem Energieausweis verfügt Dänemark nach [Eichhammer & Rieder, S. 48ff.] über eine komfortable Situation. Differenzen bestehen jedoch in der Berechnungsmethodik und dem Rhythmus für die Erstellung und Aktualisierung der Energieausweise.

Anmerkungen zum Vollzug

Eine flächendeckende Analyse der ausgeführten energetischen Qualität der Gebäude gibt es bisher nicht. Die Erörterungen in [Eichhammer & Rieder, 2005] gehen davon aus, dass bei einem von fünf Gebäuden die Wärmedämmung vollständig korrekt durchgeführt wird. Die meisten Gebäude, die nicht korrekt isoliert sind, weisen nach dieser Studie nur leicht tiefere Werte auf, als es die Energiestandards verlangen.

Die Ausführungsmängel sind zum größten Teil auf Unsicherheiten und fehlendes Know-how bei den Handwerkern zurückzuführen. Ein besonderes Problem stellen die Wärmebrücken dar. Ein fahrlässiges Unterlaufen der Normen wird als wenig wahrscheinlich betrachtet. Insgesamt wird die Qualität der Bauausführungen mit gut bewertet [Eichhammer & Rieder, 2005, S. 64].

Hinsichtlich des Vollzugs der Energieausweise wurden die Effekte durch Umfragen analysiert. Demnach wurden 25 % der vorgeschlagenen Maßnahmen in drei Jahren nach Ausstellung umgesetzt. Nach [Christensen et al., 1995, S. 42] sind 50 % dieser Maßnahmen durch Energieausweise ausgelöst worden.

Energieeffizienz

Das verfolgte Ziel zur Steigerung der Energieeffizienz im Wohngebäudesektor sieht in Dänemark vor, dass im Zeitraum von 1994 bis 2005 eine Verringerung der Energieintensität um 20 % angestrebt werden sollte. Innerhalb der ersten Periode des Kyotoabkommens und der Vereinbarung in der EU hat sich Dänemark verpflichtet, bis zum Zeitraum 2008-2012 die Treibhausgasemissionen um insgesamt 21 % im Vergleich zu 1990 zu senken. Neben der Verschärfung der Anforderungen seit Anfang 2006 soll eine weitere Steigerung der Anforderungen um 25 % ab 2010 umgesetzt werden [Jansson, 2005, S. 55].

8.3.4 Finnland

Energiestandards

Die Energiestandards für die Neubauten sind in Finnland seit 1976 kontinuierlich verschärft worden, letztmalig im Jahr 2003 um weitere 20 bis 30 %. Ein wichtiger Grund für die deutlichen Erhöhungen der Anforderungen liegt in den klimatischen Gegebenheiten, die eine gute thermische Isolierung der Gebäudehülle zur Verminderung des Energieverbrauchs voraussetzen. In der Tabelle 8-3 sind die maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten für die Bauteile aufgeführt [ISIS, 2006]. Man unterscheidet dabei nicht nach Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude.

Bauteile	1976	1978	1985	2003
	W/(m ² K)			
Fassade	0,70	0,32	0,28	0,25
Fenster	2,10	2,10	2,10	1,40
Dach	0,35	0,26	0,22	0,16
Keller	0,40	0,31	0,29	0,25

Tabelle 8-3: Entwicklung der Anforderungen an Neubauten in Finnland

Die Anforderungen der nationalen Verordnungen beziehen sich ausschließlich auf die Neubauten. Dennoch haben die kommunalen Behörden die Möglichkeit, die gleichen Anforderungen auch bei der Sanierung von Wohngebäuden einzufordern. In der Realität ist dies in fast allen kommunalen Bereichen der Fall, so dass Tabelle 8-3 sowohl für die Anforderungen bei Neu- als auch bei der Sanierung von Altbauten gilt.

Nach der finnischen Klimaschutzstrategie sollen die Maßnahmen zur Energieeffizienz insgesamt den Energieverbrauch bis 2010 um 5 % gegenüber 1990 senken. Diese Reduzierung entspricht rund 25 % der gesamten Verminderungsverpflichtung im Rahmen des Kyotoziels für Finnland und würde eine Verringerung der CO₂-Emissionen von 4 Mio. Tonnen bewirken. Die detaillierte Zielvorgabe für die Raumwärme der finnischen Wohngebäude liegt bei einer Verminderung von 9 % bis 2010 [Jansson, 2005, S. 55].

Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie

In 2007 wurde in Finnland ein neues Gesetz zur Umsetzung der europäischen Gebäuderichtlinie erlassen. Mit dieser gesetzlichen Regelung der Energieeffizienz in Gebäuden soll einerseits die Einführung der Energieausweise und andererseits die regelmäßige Inspektion der Heizungsanlagen reguliert werden. Für neue Gebäude mit einer Baugenehmigung ab 2008 ist der Energieausweis verpflichtend. Für andere Gebäude muss bei Verkauf oder Vermietung ab 2009 ein Energieausweis vorgelegt werden [Haakana, 2007].

8.3.5 Frankreich

Status der Implementierung der EU-Gebäuderichtlinie

Für alle ab September 2006 genehmigten Gebäude gelten nach der RT 2005 energetische Mindestanforderungen, die um 15 % gegenüber der vorherigen Verordnung von 2001 verschärft wurden. Dabei werden die maximalen Primärenergieverbräuche in Abhängigkeit der Beheizung für drei Klimazonen ausgewiesen. Die thermischen Standards wurden in Frankreich für neue Wohngebäude zuvor im Jahr 2001 um 15 % verschärft (RT 2000) [Jansson, 2005, Roger, 2007]. Es wird beabsichtigt, die Anforderungen danach in Zeiträumen von 5 Jahren an die technischen Fortschritte anzupassen.

In Bezug auf die derzeit vorherrschenden Bedingungen werden im Neubaubereich bis 2020 Verbesserungen der Energieeffizienz von insgesamt 40 % angestrebt. Mit der Verordnung RT 2005 werden erstmals Anforderungen an den Bestand bei der Durchführung von Sanierungen formuliert. Vergleichbar mit den Anforderungen bei Neubauten sollen auch im Altbaubereich alle 5 Jahre Anpassungen vorgenommen werden [Plan, 2004].

Die Inspektion der Heizung soll nach der Richtlinie zum Energiegesetz in regelmäßigen Zeitabständen erfolgen. Anlagen mit einer Kapazität über 100 kW werden in einem zweijährigen Rhythmus überprüft. Die vollständige Heizungsanlage wird mit einem Alter von 15 Jahren einer besonderen Kontrolle unterzogen, aus der Auflagen zur Verbesserung der Effizienz abgeleitet werden [Plan, 2004].

Energieausweise

Die Anwendung von Energieausweisen für Wohngebäude ist beabsichtigt. Die derzeitigen Überlegungen sehen vor, dass je nach spezifischem Energieverbrauch in Energieklassen von A bis E unterschieden wird. Die erzielbaren Emissionsreduktionen durch das Instrument der Energieausweise werden im Gebäudebereich bis 2010 (nach RT 2005) auf 1 Mio. t CO₂ – Äquivalente beziffert [Plan, 2004]. Nach Auskunft des Energieministeriums muss jeder Gebäudebesitzer beim Verkauf ab Mitte 2006 und bei der Vermietung ab 2007 einen Energieausweis vorlegen [Barel, 2006].

Vollzug

Über den Vollzug in Frankreich liegen derzeit noch keine verwertbaren Informationen vor.

8.3.6 Deutschland

Energiestandards

Als Resultat aus der ersten Ölkrise 1973 wurde das Energieeinspargesetz beschlossen, dass als Grundlage für die nachfolgenden Wärmeschutzverordnungen ist. 1977 wurde die erste Wärmeschutzverordnung erlassen, die 1978 in Kraft trat. Nach Novellierungen in den Jahren 1984 und 1995 wurde die Wärmeschutzverordnung 2002 durch die Energieeinsparverordnung [EnEV, 2002] abgelöst. In jedem dieser Schritte wurden eine Verschärfung der Anforderungen vorgenommen [Eichhammer & Rieder, 2005, S. 38ff.]. Die Implementierung der europäischen Gebäuderichtlinie wurde mit der EnEV 2007 insbesondere im Hinblick auf die Energieausweise vollzogen. Eine Verschärfung der Mindestanforderungen an neue Gebäude oder Sanierungen im Bestand wurden dabei nicht vorgenommen.

Energieausweis

Nach dem Feldversuch zur Einführung des Energieausweises durch die Deutsche Energieagentur wurden wichtige Erkenntnisse zur sinnvollen Gestaltung und Handhabung der Ausweise gewonnen, die in die Novellierung eingeflossen sind [DENA, 2005].

Mit der Novellierung der [EnEV, 2007] ist ab dem 01. Juli 2008 die Ausstellung von Energieausweisen beim Verkauf und der Vermietung von Gebäuden Pflicht. Zuerst nur für Gebäude, die bis 1965 erstellt wurden. Ab 2009 auch für Gebäude, die nach 1965 errichtet worden sind. Damit soll der Erstellungsaufwand der Energieausweise auf einen größeren Zeitraum verteilt werden. Für Nichtwohngebäude wird der Ausweis erst ab 01. Juli 2009 zur Pflicht. In öffentlichen Gebäuden gilt zudem eine Aushangspflicht bei Gebäuden mit einer Nutzfläche größer 1.000 m².

Vollzug

Nach der Gesetzgebung in Deutschland sind die Bundesländer verpflichtet, die Energiestandardstandards umzusetzen. Die Zuständigkeit zum Vollzug der EnEV in der Praxis liegt im Verantwortungsbereich der Bundesländer und wird dort geregelt.

Analysen bezüglich der Sanierungen im Bestand haben gezeigt, dass in Deutschland die Gebäudehülle nur unzureichend saniert wird, obwohl Deutschland im europäischen Vergleich sehr weit vorne liegt. Die Anzahl der Sanierungen ist so gering, weil viele notwendige Maßnahmen verschoben werden. Zudem entspricht die thermische Qualität der ausgeführten Sanierungen häufig nicht den Anforderungen. Folglich wird bei Sanierungen überhaupt nicht oder nur unzureichend wärmegeklämt. Durch die Potenzialausnutzung, die das Verhältnis der tatsächlich erreichten Einsparungen gegenüber den notwendigen Einsparungen gemäß der geltenden Verordnung beschreibt, kann dieser Zustand erfasst

werden. Die derzeitige Sanierungspraxis wird in Deutschland nach [Kleemann & Hansen, 2005, S. 63] durch einen Wert von 32 % und von 36 % nach der Zeitreihenanalyse von 1990 bis 2001 in Kapitel 6 beschrieben. Diese Zahlen für die Potenzialausnutzung bedeuten, dass bei der Dämmung der Gebäudehülle des Wohngebäudebestands, nahezu die dreifache Energiemenge eingespart werden könnte.

Weitere politische Maßnahmen

Die maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten der EnEV 2007 sollen ab Oktober 2009 für Neubauten und Sanierungen im Bestand um 30 % verschärft werden. Ab 2013 soll eine weitere Verschärfung in entsprechender Höhe realisiert werden.

In Abänderung der EnEV 2007 soll mit der EnEV 2009 auf der Basis der DIN V 18599 ein neues Berechnungsverfahren für Wohngebäude eingeführt werden. In der vorherigen Novellierung war die DIN V 15899 bereits für Nichtwohngebäude als verpflichtend festgelegt worden. Ausgehend von einem Referenz-Wohngebäude kann mit der EnEV 2009 auch der Einsatz von erneuerbaren Energien (v.a. Solarthermie) berücksichtigt werden.

Zudem ist bei Neubauten aufgrund des Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz ab 2009 ein Mindestanteil des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien zu decken. Im Bestand soll der Einsatz von Erneuerbaren durch ein finanziell verbessertes Marktanreizprogramm gefördert werden. Die Bundesregierung strebt an, die Deckung des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien von 2007 mit rund 6 % bis 2020 auf 14 % zu steigern [IEKP, 2007, S. 97].

8.3.7 Griechenland

Energiestandards

Der Gebäudeenergieverbrauch beträgt nach einer Studie von [Lazari & Lambropoulou, 2004, S. 2] 22,6 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Griechenland und 47% dieses Verbrauchs wird durch die Nutzung der Wohngebäude verursacht. Der flächenspezifische Raumwärmeverbrauch variiert mit der klimatischen Region und dem Baujahr.

Die Wohngebäude in Griechenland sind in der Regel in privatem Besitz. In Mehrfamiliengebäuden gehören sehr häufig die einzelnen Wohnungen unterschiedlichen privaten Besitzern, die entweder selbst in den Wohnungen leben oder sie vermieten. Dies erschwert die Durchführung von energetischen Sanierungen, da sie nur nach der Zustimmung aller Besitzer realisiert werden können.

Die ersten Anforderungen an Neubauten wurden durch eine Verordnung im Jahr 1979 erlassen. Nach dieser Verordnung ist eine Studie über die thermische Isolierung und die Heizungsanlage für jedes neue Wohngebäude zu erstellen. Zur Festlegung der Anforderungen wurde Griechenland in drei Klimaregionen unterteilt und für jede Klimaregion der maximal zulässige Wärmedurchgangskoeffizient für die Gebäudehülle definiert. Der Vollzug dieser Verordnung obliegt den lokalen Planungsbehörden der Gemeinden [Lazari & Lambropoulou, 2004, S. 4ff.].

Derzeit wird eine Überarbeitung der Mindestanforderungen an den Wärmeschutz bei Neubauten vorgenommen. Diese sollen erstmals nach einer integrierten Berechnungsmethode erstellt werden, die die Energieeffizienz erhöht. Hinsichtlich der Berechnung soll es spezifische Verfahren für Wohnungen und andere Gebäude geben. Diese neuen Anforderungen sollen für Gebäude, die ab 2009 genehmigt werden, zur Pflicht werden. Bei größeren Sanierungen im Bestand sollen ab 2009 die gleichen Mindestanforderungen wie für Neubauten gelten. Insbesondere durch die Zertifizierungen und Energieausweise sollen für Alt- und Neubauten Verbesserungen erzielt werden [Sofronis, 2007].

Vollzug

Nach derzeitigen Erkenntnissen wird davon ausgegangen, dass höchstens 30 % der Wohnungen in Griechenland, die nach 1979 errichtet worden sind, den geforderten Ansprüchen der Verordnung entsprechen [ISIS, 2006].

8.3.8 Irland

Energiestandards

Nach den Verordnungen in Irland sind die Energiestandards seit dem Juni 1992 sowohl auf Neubauten als auch auf die Sanierungstätigkeiten im Bestand ausgerichtet. Bei größeren Sanierungen sind die Anforderungen an die maximal zulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten von Neubauten einzuhalten. Die Einhaltung der Anforderungen dieser Verordnung senken den Energiebedarf bei Neubauten um rund 20 % [ISIS, 2006].

Neben einer 10-prozentigen Verschärfung der Werte dieser Verordnung im Jahr 1997 wurde im Jahr 2003 eine weitere Verschärfung der Anforderungen vorgenommen. Dabei ergibt sich je nach Gebäudetyp eine Senkung des Energieverbrauchs von neuen Neubauten von 23 bis 33 %. [ISIS, 2006].

EU-Gebäuderichtlinie

Zur Realisierung der EU-Gebäuderichtlinie wurden verschärfte Anforderungen ab Juli 2006 erlassen. In diesem Schritt erfolgte zugleich die Definition größerer Sanierungen im Rahmen der Alterung der Baumaterialien, bei denen die Energiestandards von Neubauten eingehalten werden müssen.

Der Energieausweis und ein beratender Bericht soll für neue Wohngebäude ab 2007 gefordert werden, während für den Bestand eine Einführung des Energieausweises, beim Verkauf oder Vermietung, erst ab 2009 vorgesehen wird.

Die Energieeffizienzanforderungen an Heizungsanlagen werden gemäß den Bestimmungen der Richtlinie ab 2008 umgesetzt. Entgegen den regelmäßigen Inspektionen wird eine begleitende und ständige Informationskampagne für die Sanierung, die Nutzung und den Austausch der Heizkessel nach [SEI, 2006, S. 7ff.] bevorzugt.

8.3.9 Italien

Energiestandards

Die Energiestandards in Italien sind nach 1975 in den Jahren 1982, 1989 und 1993 verschärft worden. Diese Verschärfungen führten dazu, dass Wohngebäude ab 1993 rund 11 % weniger Energie als Gebäude vor 1978 und rund 5 % weniger als Gebäude der Baujahre 1979 und 1989 verbrauchen [Presutto, 2004, S. 21]. Erstmals wurden in den Energiestandards ab 1993 auch Anforderungen an Sanierungen gestellt, wobei diese erst bei größeren Sanierungsaktivitäten verpflichtend wurden.

Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie

Im Rahmen der Umsetzung der europäischen Gebäuderichtlinie wurde im Dezember 2006 mit dem Gesetz (Decreto Legislativo n.311/2006) für neue Wohngebäude eine mehrstufige Verschärfung der Mindestanforderungen der einzelnen Bauteile gegliedert nach sechs Klimazonen, die in Abhängigkeit der jährlichen Heizgradtage variieren beschlossen. In drei Stufen (2006, 2008 und 2010) sollen für Neubauten gemäß der Baugenehmigung die verschärften Anforderungen in Kraft treten.

Mit dem Gesetz von 2006 wurden zugleich Anforderungen für bestehende Gebäude formuliert. Bei Sanierungen in Wohngebäuden mit mehr als 1.000 m²-Wohnfläche, die mehr als 20 % des Gebäudevolumens umfassen, sind die gleichen energetischen Anforderungen wie bei Neubauten einzuhalten. Bei kleineren Wohngebäuden dürfen die Mindestanforderungen nach der jeweils gültigen Verordnung nicht mehr als 20 Prozent über den Anforderungen von Neubauten liegen.

Inspektion der Heizungsanlagen

Die Inspektionen von Heizungsanlagen wurden in Italien mit dem Gesetz "Law n.10/1991" 1991 eingeführt. Die Standards von 1993 erforderten erstmalig eine regelmäßige Inspektion der Heizungsanlagen, die im Detail nach Leistungsklassen unterschiedliche Zeitspannen für die Inspektionsintervalle vorsahen. In Abhängigkeit von der Leistung des Heizkessels wurde im Rahmen eines Programms im Jahre 1994 eine ein- bis zweijährige Überprüfung der Anlagen verfolgt.

Mit dem Gesetz (Decreto Legislativo n.311/2006 (Ambito di Intervento)) wurden einige Prozeduren modifiziert, denn den Regionen wurde eine größere Verantwortlichkeit übertragen und eine Erhöhung des Intervalls der Inspektionen auf vier Jahre vorgenommen.

Energieausweise

Mit dem Gesetz von 1991 wurde in Artikel 30 die Zertifizierung von Gebäuden festgelegt. Die praktische Anwendung wurde allerdings erst im Rahmen der verordneten Standards von

1993 verfolgt, wodurch die Einführung und Anwendung dezentraler Gesetze der einzelnen Regionen ermöglicht wurde. In den Regionen Emilia-Romagna und Toskana wurden im Dezember 2004 und im Februar 2005 entsprechende Gesetze zur Einführung der Energieausweise in Wohngebäuden gemäß der EU-Gebäuderichtlinie erlassen. In der Region Emilia-Romagna wurde für die Durchsetzung der Energieausweise eine Zeitperiode von fünf Jahren definiert.

Mit der Verschärfung der Energiestandards im Jahr 2006 wurde auch eine einheitliche Einführung der Energieausweise beschlossen. Demnach müssen alle neuen Wohngebäude mit einer Wohnfläche von mehr als 1.000m²-Wohnfläche bei Verkauf und Vermietung ab Juli 2007, Gebäude unter 1.000m²-Wohnfläche ab Juli 2008 und letztlich alle Wohnungen ab Juli 2009 einen Ausweis besitzen.

Darüber hinaus ist der Energieausweis für alle Gebäude erforderlich, die seit 2007 durch öffentliche Maßnahmen, wie die dreijährige steuerliche Abschreibung von Effizienzmaßnahmen an Gebäuden in Höhe von 55 %, oder weitere Programme gefördert werden. Der Nachweis erfolgt bisher auf der Basis bereits existierender Verfahren. Derzeit ist ein Entwurf für konkrete Leitlinien für das Berechnungsverfahren des Energieausweises in der Diskussion [Antinucci et al., 2007].

8.3.10 Luxemburg

Status der Implementierung der EU-Gebäuderichtlinie

Die Umsetzung der europäischen Gebäuderichtlinie wird auf der Basis des Energiegesetzes („loi du 5 aout 1993 concernant l'utilisation rationelle de l'energie“) aus dem Jahr 1993 vorgenommen. Dieses Gesetz stellt Anforderungen an die thermische Isolierung von Gebäuden und wurde mit der Wärmeschutzverordnung von 1995 verifiziert („reglement grand-ducal concernant l'isolation thermique des immeubles“). Mit diesem Gesetz werden bisher energetische Anforderungen in Form eines maximalen durchschnittlichen Wärmedurchgangskoeffizienten für neue Wohngebäude und Sanierungen in Bestandsgebäuden mit einer Wohnfläche von mehr als 200 m² formuliert. Für kleinere Wohngebäude gelten maximale Wärmedurchgangskoeffizienten für die einzelnen Bauteile der Gebäudehülle [Eischen, 2007].

Im Rahmen der Umsetzung der Richtlinie wurden in 2006 neue Methoden zur Berechnung des Energiebedarfs von Neubauten sowie Gebäuden im Bestand, die saniert werden oder größere Veränderungen erfahren, entwickelt.

Die Anforderungen an neue Wohngebäude sind nach dieser Berechnung um rund 40 % gegenüber der bestehenden Verordnung von 1995 verschärft worden. Im Bestand sollen bei größeren Sanierungen grundsätzlich die gleichen Anforderungen gelten [RICS, 2007].

Ein Energieausweis soll für neue Wohngebäude verpflichtend werden. Für Gebäude im Bestand soll ein Ausweis erstellt werden, wenn technische Modifizierungen das energetische Verhalten der Gebäude beeinflussen oder das Gebäude vermietet oder verkauft wird [Eischen, 2007].

8.3.11 Niederlande

Energiestandards

Die ersten Energiestandards wurden 1978 erlassen und umfassten bestimmte zulässige U-Werte für die Gebäudehülle. Nach der Überarbeitung der Vorschriften bis 1985 wurde 1990 ein so genannter „Energy Performance Coefficient“ (EPC) als Indikator für die Energieeffizienz von neuen Gebäuden eingeführt. In der Ermittlung werden Standards für die Bauteile und die Heizungsanlagen und ein standardisiertes Nutzerverhalten berücksichtigt. Dieser Koeffizient, der ein dimensionsloser Wert ist, wurde ausgehend von 1,4 im Jahre 1995 auf 1,2 im Jahr 1998 und danach auf 1,0 im Jahr 2000 herabgesetzt [Eichhammer & Rieder 2005, S. 41f.].

Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie

Im Rahmen der Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie ist der EPC für neue Wohngebäude und bei Gebäuden mit größeren Sanierungen durch die Verordnung „Decree Energy Performance of Buildings“ und die Richtlinie („Regulation on Energy Performance of Buildings“) ab dem Jahr 2007 auf 0,8 reduziert worden. Bei kleineren Sanierungen müssen Anforderungen zur Lüftung und Dämmung erfüllt werden [Ekerschot & Heinemans, 2007].

Energieausweise und Berechnungsverfahren

Die niederländische Regierung hat 2006 beschlossen, einen einfachen und übersichtlichen, verpflichtenden Energieausweis einzuführen. Dieser Ausweis kann durch einen Energieberatungsbericht, der detaillierte gebäudebezogene Informationen darlegt, freiwillig ergänzt werden. Dieser Bericht geht über die Anforderungen an den Energieausweis, der die derzeitige Energieeffizienz darstellt und eine Liste mit Verbesserungsmaßnahmen vorsieht, hinaus.

Der Energieausweis ist grundsätzlich ab 2008 verpflichtend. Für Wohnungsbau-gesellschaften und öffentliche Gebäude wird er ab 2009 obligatorisch [Sager, 2007].

Qualität des Vollzugs

In Studien von Novem zum Vollzug der Energienachweise konnte festgestellt werden, dass 50 bis 60 Prozent der Berechnungen Fehler aufweisen [Eichhammer & Rieder, 2005, S. 62].

8.3.12 Portugal

Energiestandards

In Portugal sind seit dem Jahr 1991 erstmalig Anforderungen an die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile der Gebäudehülle im Rahmen der Verordnung (RCCTE) eingeführt worden. Diese Regulierungen sind bei Neubauten und bei der Durchführung von großen Veränderungen und Sanierungen an bestehenden Wohngebäuden vorzunehmen, wenn die Wohnfläche des Gebäudes eine Größe von mehr als 300 m² überschreitet. Diese Verordnung (Law 40/90) legt einen maximal zulässigen Energieverbrauch für die Anforderungen an die Beheizung und die Kühlung in Form von kWh/(m² a) fest. Aufgrund der klimatischen Bedingungen wird Portugal in drei Klimagebiete für die Sommer- und Winterkonditionen unterteilt.

Im April 2006 wurde eine Verschärfung der Verordnung (RCCTE) realisiert (Decree 80/2006). Eingeteilt in 4 Klimazonen werden die Referenzwerte der maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten für Dächer und Fassaden nach den Anforderungen im Sommer und Winter klassifiziert.

Eine Evaluation der Energiestandards im Zeitraum von 1990 bis 2000 kommt im Wohngebäudesektor zu der Erkenntnis, dass der Endenergieverbrauch im Mittel um 3,7 % pro Jahr angestiegen ist [Meyer, 2002]. Neben den gestiegenen Einkommen und Ansprüchen der Familien ist im Zeitraum von 1995 bis 2000 die Zahl der Wohneinheiten um 10 % gewachsen. Bisher ist es wegen der fehlenden Datenbasis nicht möglich, die Energie- und CO₂-Einsparungen dieser Verordnung zu überprüfen.

Energieausweise

Der Zeitplan zur Implementierung der Energieausweise ist gegliedert nach Gebäudetypen in drei Phasen unterteilt und die vollständige Umsetzung ab 2009 vorgesehen. In der ersten Phase müssen alle neuen Wohngebäude und größere Nicht-Wohngebäude mit einer Baugenehmigung ab 1. Juli 2007 und generell alle Neubauten ab 1. Juli 2008 einen Energieausweis haben. Die Ausstellung der Energieausweise erfolgt durch qualifizierte Experten.

Nach dem nationalen Energieplan für Gebäude ist kurzfristig eine Steigerung der Anzahl der qualifizierten Experten sowie eine Erhöhung der Fortbildungsaktivitäten vorgesehen. Derzeit wird zudem ein einfaches Verfahren zur Einführung des Energieausweises im Bestand ab 2009 entwickelt [Santos & Mateus, 2008].

8.3.13 Spanien

Energiestandards

Die thermischen Anforderungen der Gebäudehülle werden seit 1979 durch die NBE-79 (Basic Building Standard) geregelt. Diese Richtlinie nennt vorgeschriebene Mindeststandards für die thermische Isolierung von Neubauten, die durch die thermischen Transmissions-Koeffizienten der einzelnen Bauteile und den gesamten Transmissions-Koeffizienten gekennzeichnet werden. Sie stellen zugleich die maximal zulässigen Werte dar, die von der klimatischen Region, den Indikatoren der Kompaktheit des Wohngebäudes und von dem Heizungstyp abhängig sind. In der Berechnungsmethode wurden zur klimatischen Unterscheidung nach den örtlichen Heizgradtagen fünf klassifizierte Regionen einbezogen.

Mit dem Gesetz 1618/80 wurde im Juli 1980 eine Verordnung zum rationellen Einsatz der Energie für Heizungs-, Klima- und Warmwasseranlagen erlassen. Insbesondere die Kontrolle des Energieverbrauchs für Raumwärme in Gebäuden wurde in diesem Gesetz festgeschrieben und Anforderungen zum Stand der Technik in den technischen Instruktionen beschrieben. Dieses Gesetz (RITE = Regulations for thermal installations on Buildings) wurde hinsichtlich der Praktikabilität in den Jahren 1986 und 1998 und letztmalig zur Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie in 2007 überarbeitet [Herrera, 2007].

Im März 2006 wurde nun eine neue Verordnung erlassen, die erstmals in Europa den Einsatz thermischer Solarenergie sowohl bei Neubauten als auch bei der Sanierung der Wohngebäude im Bestand vorschreibt. Die Anforderungen an die maximal zulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten wurden im Rahmen von Mindeststandards, abhängig von der Klimazone, deutlich verschärft [BOE, 2006].

Energieeffizienz

Durch den Plan zur Förderung der regenerativen Energien sollen die Anteile der Erneuerbaren bis 2010 auf 12 % des Primärenergiebedarfs und im Bereich der Stromproduktion auf fast 30 % erhöht werden. Zum Erreichen dieser Ziele werden im Gebäudesektor, neben den Impulsen zur Nutzung der passiven Solarenergie als zentraler Bestandteil bei der Errichtung des Gebäudes, auch der Einsatz der Photovoltaik durch finanzielle Maßnahmen gefördert.

Mit einer Energieeinspar- und Effizienzstrategie soll innerhalb der Periode von 2004 bis 2012 die Menge der Primärenergie um 7,2 % gesenkt werden. Durch die Maßnahmen im gesamten bestehenden Gebäudebestand wird eine Verminderung der CO₂-Emissionen um 40,2 Mio. t CO₂ bis 2012 angestrebt. Im gesamten Gebäudesektor wird nach der nationalen spanischen Energieagentur eine Einsparung um rund 20 TWh bis 2012 angestrebt [ISIS, 2006].

Energieausweise

Die Einführung der Energieausweise auf der Grundlage eines Basisverfahrens für Neubauten wurde per Gesetz für Wohngebäude mit einer Baugenehmigung ab dem 01. November 2007 verpflichtend. Die Berechnung des Energiebedarfs kann nach dem nationalen Basisverfahren mit einer einfachen oder komplexen Berechnung durchgeführt werden. Die regionalen Regierungen und die autonomen Kommunen können weitere Detaillierungen dieses Basisverfahrens vornehmen. Für die Anforderungen an Energieausweise für Bestandsgebäude wird derzeit ein Gesetz vorbereitet, wonach ein Basisverfahren ab 2009 verpflichtend eingeführt werden soll [Herrera, 2007].

8.3.14 Schweden

Energiestandards

Nach der Ölkrise 1973 wurden die Energiestandards im Gebäudesektor grundlegend verändert. Denn mit der Einführung der Verordnung von 1975 wurde die Energieeffizienz in den Mittelpunkt gestellt. Es wurde ein bauteilspezifischer Energiestandard definiert, der für die verschiedenen Bauteile der Gebäudehülle Mindeststandards festlegt. In den älteren Verordnungen wurde die Energieeffizienz nicht berücksichtigt.

Ein neuer Berechnungsansatz anstelle der bauteilspezifischen Betrachtung wurde 1998 realisiert. In diesem Ansatz wird ein mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für die gesamte Gebäudehülle bestimmt, der in Beziehung zu einem maximal zulässigen Wert gesetzt wird. Die thermischen Anforderungen wurden im Rahmen einer weiteren Verschärfung mit der Verordnung (BBR 94) ab 1998 umgesetzt [Smeds, 2004, S. 5f.]. Eine weitere Steigerung der Anforderungen wurde für Neubauten 2006 vorgenommen. Im Jahr 2008 soll eine weitere Revision durchgeführt werden. Die Anforderungen an den Bestand richten sich bei Sanierungen an diejenigen der Neubauten [Perrson, 2007].

Die Analyse der Neubauten bei Ein- und Mehrfamiliengebäuden zeigt nach [Nässen & Holmberg, 2005, S. 1043], dass im Zeitraum von 1970 bis 2000 die Verbrauchswerte deutlich sinkend sind, allerdings bei neuen Einfamiliengebäuden seit 1996 ein ansteigender Trend festzustellen ist.

Maßnahmen im Wohngebäudesektor

Aufgrund der frühzeitig erlassenen Energiestandards wurde Ende der 80er Jahre ein hohes Anforderungsniveau geschaffen. Die Politik Schwedens konzentrierte sich in den folgenden Jahren nicht auf den Wohngebäudebestand, was u. a. durch ein fehlendes Bauministerium im Zeitraum von 1991 bis 1998 exemplarisch gekennzeichnet werden kann. Im Jahr 1998 bekam der Wohngebäudebestand wegen der steigenden Unterdeckung von Wohneinheiten in den wirtschaftlich wachsenden Regionen wieder eine wichtige politische Bedeutung. Seit

2005 wird der Wohngebäudesektor vom Ministerium für nachhaltige Entwicklung betreut [NHD, 2006, S. 3].

Ein Bericht des National Board of Housing, Building and Planning des Jahres 2003 zeigt, dass im Wohngebäudebestand jährlich rund 20.000 Wohneinheiten saniert werden. Aufgrund des Zustands des Wohngebäudebestands und der fortschreitenden Alterung müssten jedoch 65.000 bis 75.000 Wohnungen pro Jahr renoviert werden. Vor allem in Mehrfamilienwohngebäuden wird ein starker Nachholbedarf gesehen [NHD, 2006, S. 13].

Finanzielle Anreize werden im Haushaltssektor zur Reduktion des Stromverbrauchs und zur Verbreitung von Fernwärmenetzen gesetzt. Der Austausch der Heizkessel und die Substitution von fossilen Brennstoffen als Energieträger werden finanziell gefördert [Jansson, 2005]. Die Einführung der Energieausweise gilt ab 2009 [Perrson, 2007].

8.3.15 Großbritannien

Energiestandards

Die Gebäudeverordnungen zur Verringerung des Energieverbrauchs im Wohngebäude finden sich in den einzelnen Staaten Großbritanniens in verschiedenen Gesetzen, die seit 2002 in England, Wales und Schottland zu einem vereinfachten Standard für Neubauten zusammengeführt worden sind. Die Energiestandards wurden in den einzelnen Staaten zu unterschiedlichen Zeitpunkten überarbeitet und verschärft. Zur Realisierung der EU-Gebäuderichtlinie wurde in England und Wales im April 2006 im Rahmen einer neuen Verordnung eine Verschärfung der Anforderungen vorgenommen. Zur Umsetzung der Richtlinie werden in Schottland und Nordirland separate Verordnungen erlassen. Letztmalig wurde 2007 in Schottland eine Verordnung erlassen. Die energetischen Standards in Nordirland wurden 2006 letztmalig verschärft.

Vor dem Hintergrund dieser nationalen Neufassungen wurde zur Verringerung des Brennstoffbedarfs und der Energie im Jahr 1995 ein anerkanntes und geprüftes Dokument mit festgelegten energetischen Anforderungen im gesamten Gebiet Großbritanniens eingeführt, dass zur weiteren Umsetzung in das Recht der einzelnen Länder zu überführen war. England und Wales gingen mit ihrer Verordnung von 2002 signifikant über die Anforderungen des anerkannten Dokuments hinaus.

Mit der Verordnung aus dem Jahre 2006 wurden die verschärften Anforderungen an Neubauten und Wohngebäude im Bestand geregelt. Eine wichtige Anforderung an Neubauten ist ein gesamter energetischer Mindeststandard, der in einer Zielrate für die Kohlendioxidemissionen erfasst wird (TER = Target carbon dioxide Emission Rate). Diese Zielrate darf den tatsächlichen Wert des Wohngebäudes und der Wohnung (DER = Dwelling carbon dioxide Emission Rate) nicht überschreiten. Ein weiteres wichtiges Ziel besteht darin, den zulässigen Raumwärmebedarf durch die Limitierung der gesamten Transmissionswärmeverluste bei der Errichtung des Wohngebäudes nicht zu unterschreiten. Zur Erhöhung der Flexibilität bei der Baugestaltung werden keine spezifischen Designlimits gefordert. Daraus folgt aber zum Beispiel, dass in einem Wohngebäude mit schlechter Isolierung zum Ausgleich ein verstärkter Einsatz von regenerativen Energien erfolgen muss.

Die Anforderungen an den Bestand werden 2006 erstmalig in einem getrennten Abschnitt erfasst. Inhaltlich wird dem Bestand zur Erhöhung der Energieeffizienz eine größere Rolle beigemessen. Bei der Durchführung von Sanierungen sind maximal zulässige Wärmedurchgangskoeffizienten für die Bauteile der Gebäudehülle einzuhalten.

Mit dieser Verordnung von 2006 wird im Vergleich zur Verordnung von 2002 eine jährliche Verminderung der CO₂-Emissionen von 1,3 Mio. t CO₂ bis 2010 in England und Wales

erwartet [ISIS, 2006]. Ähnliche Anforderungen an die Sanierung von Bestandsgebäuden wurden in Nordirland im Jahr 2006 und in Schottland 2007 erlassen [Woods, 2007].

Begutachtung der Heizungsanlagen

Großbritannien hat sich gegen obligatorische Inspektionen der Heizungsanlagen entschieden und beschlossen, Hilfen für den effektiven Einsatz von Heizungsanlagen gekoppelt mit Förderprogrammen, den zuständigen Verordnungen sowie in Kombination mit einem extensiven Informationsprogramm bereitzustellen [Woods, 2007]. Der Einsatz der sehr effektiven Brennwertkessel ist vorgeschrieben.

CO₂-Einsparungen durch Energieausweise

Eine vollständige Umsetzung der Energieausweise gemäß der EU-Gebäuderichtlinie ist in Großbritannien ab November 2008 geplant [Woods, 2007].

Zur Steigerung der Effektivität der Energieausweise wurden verschiedene Szenarien zur Einführung der Ausweise analysiert. Im Vergleich zu einem Trendszenario (business-as-usual) sind bei der Fortführung der bisherigen Politik trotz der Unterstützung der Energieeffizienz keine zusätzlichen Einsparungen zu erzielen. Zum Erreichen weiterer Emissionsminderungen sind begleitend zur Einführung der Energieausweise neue finanzielle Anreize und Förderungen wie steuerliche Ermäßigungen nötig. Je nach Intensität der begleitenden Maßnahmen könnten hierdurch im Gegensatz zum Trendszenario zusätzliche Emissionsminderungen von 0,60 Mio. t CO₂ pro Jahr erreicht werden [Sunikka, 2005, S. 6ff.].

9. Szenarien für den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen im Wohngebäudebereich der EU-15 bis 2030

Vor dem Hintergrund der in Kapitel 7 definierten Szenarien und den nationalen Besonderheiten bezüglich der Energiestandards und dem Vollzug sowie den nationalen Umsetzungen der EU-Gebäuderichtlinie gemäß Kapitel 8 erfolgt in diesem Kapitel die Darstellung der Rechenergebnisse des Sanierungsmodells.

9.1 Entwicklung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen im Referenzszenarios

Das Referenzszenario unterstellt, dass keine Minderungsmaßnahmen statt finden, sondern dass nur Bestandsveränderungen durch Abriss und Neubau erfolgen. Dadurch ist das Referenzszenario geeignet, als „Messlatte“ für die Maßnahmen-szenarien zu dienen.

Das Startjahr 2005 des Szenarios ist durch einen Raumwärmeverbrauch der EU-15 mit 2.067 TWh gekennzeichnet. Der Verbrauch des Jahres 2005 vermindert sich durch den Abriss von Wohngebäuden um 155 TWh auf 1.912 TWh bis 2030. Berücksichtigt man die Neubauten im gleichen Zeitraum, so wird dieser Verbrauchsabfall unter der fiktiven Annahme, dass keine energetische Sanierung der Gebäudehülle und kein Austausch von Heizkesseln erfolgt, mit einer mittleren jährlichen Verbrauchssteigerung von 11,5 TWh bis 2030 mehr als überkompensiert (vgl. Abbildung 9-1). Insgesamt steigt der Raumwärmeverbrauch bis 2030 auf 2.180 TWh bzw. um 5,5 %.

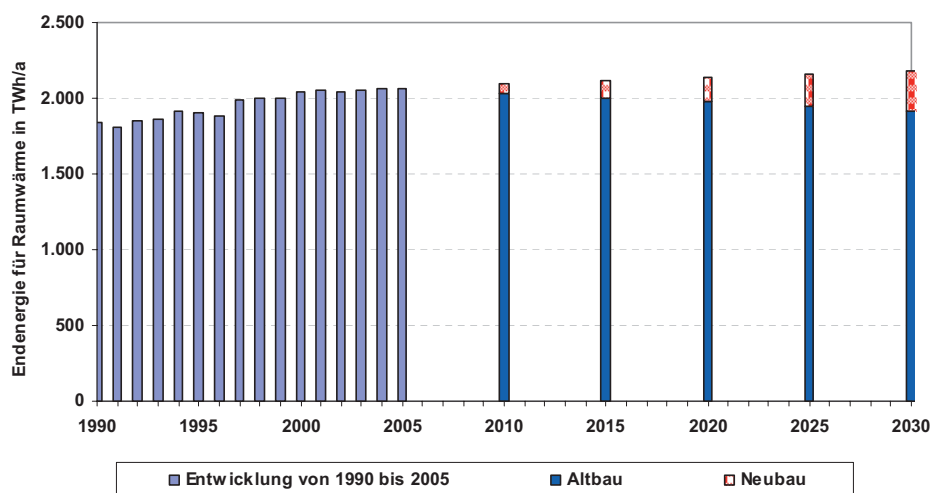


Abbildung 9-1: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Raumwärme in Alt- und Neubauten im Referenzszenario (EU-15)

Hinsichtlich der CO₂-Emissionen der Wohngebäude für die EU-15 kann bis 2030 auf der Basis der temperaturbereinigten Raumwärmeverbräuche nach Abbildung 9-1 ein Anstieg von 5 % oder 19 Mio. t CO₂ festgestellt werden. Dies entspricht einer Erhöhung der Emissionen von 369 Mio. t CO₂ in 2005 auf 388 Mio. t CO₂ in 2030. In der Abbildung 9-2 ist die länderspezifische Entwicklung der CO₂-Emissionen im Referenzszenario dargestellt. Es fällt insbesondere der hohe Beitrag Deutschlands auf. Entsprechend der Definition des Referenzszenarios verändern sich die Zahlen bis 2030 nur geringfügig.

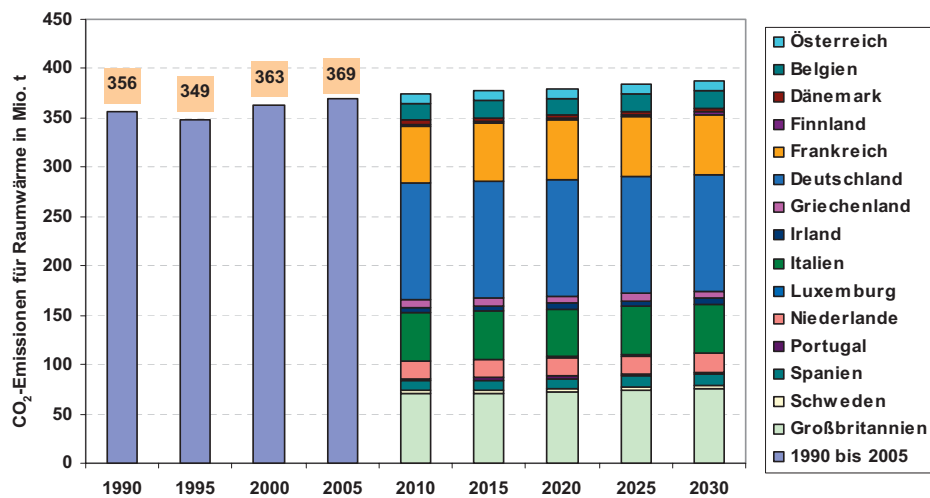


Abbildung 9-2: Länderspezifische Entwicklung der der CO₂-Emissionen im Referenzszenario

9.2 CO₂-Minderung im Rahmen von Reduktionsszenarien

Es werden zwei Einsparstrategien formuliert und hinsichtlich der Emissionsverminderungen mit dem Referenzszenario verglichen. Im Anschluss daran werden die beiden Szenarien untereinander verglichen und auf nationaler Ebene werden Kombinationen unterschiedlicher Einsparstrategien diskutiert sowie mögliche Minderungsmaßnahmen identifiziert. Die beiden betrachteten Szenarien sind:

- Das Szenario „EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie“ und
- das Szenario „Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von erneuerbaren Energien“.

9.2.1 Szenario „EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie“

Zweck des Szenarios und Hauptannahmen

Mit dem Szenario „EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie“ soll anhand des aktuellen Stands der Politik analysiert werden, ob die Anwendung der Gebäuderichtlinie und die Einführung erneuerbarer Energien eine Einsparung im Bestand von 1 % pro Jahr erreichen können, so wie es von der Effizienzrichtlinie gefordert wird. Dabei wird unterstellt, dass die Effizienzrichtlinie nach 2015 in gleicher Größenordnung fortgeschrieben wird.

Die Gebäuderichtlinie legt nach Paragraph 6 [EC, 2002b] fest, dass die Mitgliedsstaaten aufgefordert sind, erforderliche Maßnahmen zu ergreifen, die eine Anpassung an Mindeststandards für Gebäude mit einer Gesamtnutzfläche von mehr als 1.000 m² bei der Durchführung von größeren Renovierungen sicherstellen. Da in Bezug auf den Wohngebäudebestand von dieser Regelung ausschließlich die Gebäudegruppe der großen Mehrfamilienhäuser betroffen ist, wird im Szenario eine Ausweitung der bestehenden Richtlinie auf den gesamten Wohngebäudebestand angenommen.

Nach der vorgesehenen Förderung der erneuerbaren Energien wird im Szenario ein Anteil regenerativer Wärmeerzeugung von 15 % bis 2020 und 20 % bis 2030 unterstellt. Hinsichtlich der Anforderungen der Richtlinie entspricht dies einer Realisierung des geforderten Anteils von 60 %.

Die berechneten Werte für die nationalen Potenzialausnutzungen steigen in diesem Szenario im Mittel jährlich um 1 % an, weil von einer kontinuierlichen Verbesserung des Sanierungsverhaltens ausgegangen wird.

Entwicklung des Energieverbrauchs und der Emissionen

Die Ausweitung der Gebäuderichtlinie auf den gesamten Bestand führt im Szenario von 2005 bis 2030 für den Energieverbrauch zu einer Reduktion von 458 TWh und erreicht 2030 die

Einsparung der Effizienzrichtlinie mit einem Einsparvolumen von 455 TWh (vgl. Abbildung 9-3).

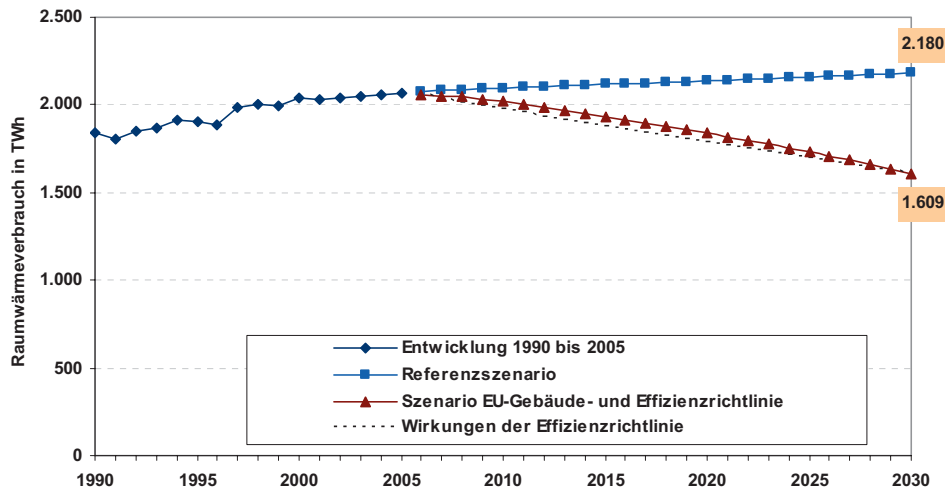


Abbildung 9-3: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Raumwärme bis 2030 nach dem Referenzszenario und dem Szenario "EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie"

Die Gesamtemissionen durch Raumwärme nehmen in diesem Szenario (vgl. Abbildung 9-4) von 368 Mio. t CO₂ im Jahr 2005 um 106 Mio. t oder knapp 29 % auf 262 Mio. t bis 2030 ab. In Bezug zum Ausgangswert in 1990 entspricht dies einer Verringerung der Emissionen in der EU-15 um 94 Mio. t CO₂ bzw. 27 %. Im Vergleich zum Referenzszenario können die Emissionen im Jahr 2030 um 127 Mio. t oder 33 % vermindert werden.

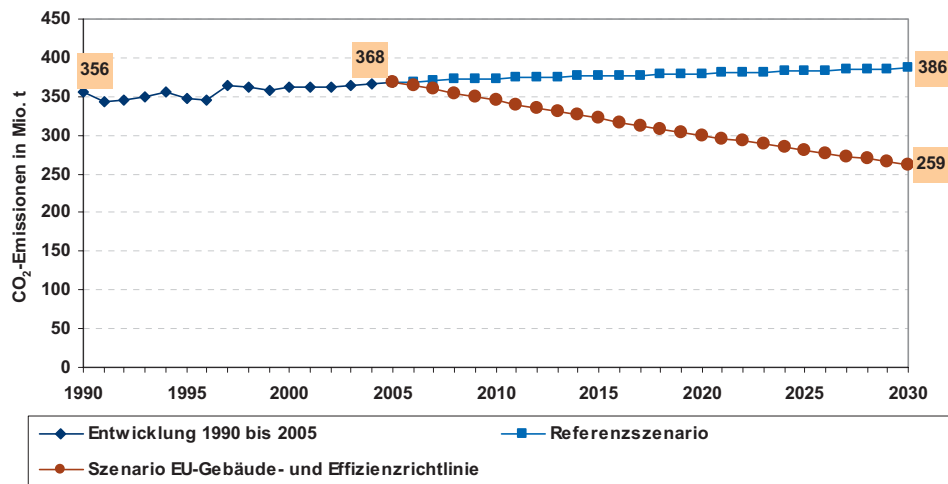


Abbildung 9-4: Entwicklung der Gesamtemissionen bis 2030 nach dem Referenzszenario und dem Szenario "EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie"

Die Einflüsse der Einzelrichtlinien

Die CO₂-Einsparungen gegenüber dem Referenzszenario bewirken die Einsparungen durch die vorhandene Gebäuderichtlinie mit 27 Mio. t CO₂, durch eine Ausweitung dieser Richtlinie mit 47 Mio. t CO₂ sowie um 53 Mio. t CO₂ durch die Senkung der Emissionen infolge der Steigerung des Anteils von erneuerbaren Energien (vgl. Abbildung 9-5). Zur Zielerreichung dieses Szenarios ist eine Ausweitung der vorhandenen Gebäuderichtlinie auf den gesamten Wohngebäudebestand erforderlich.

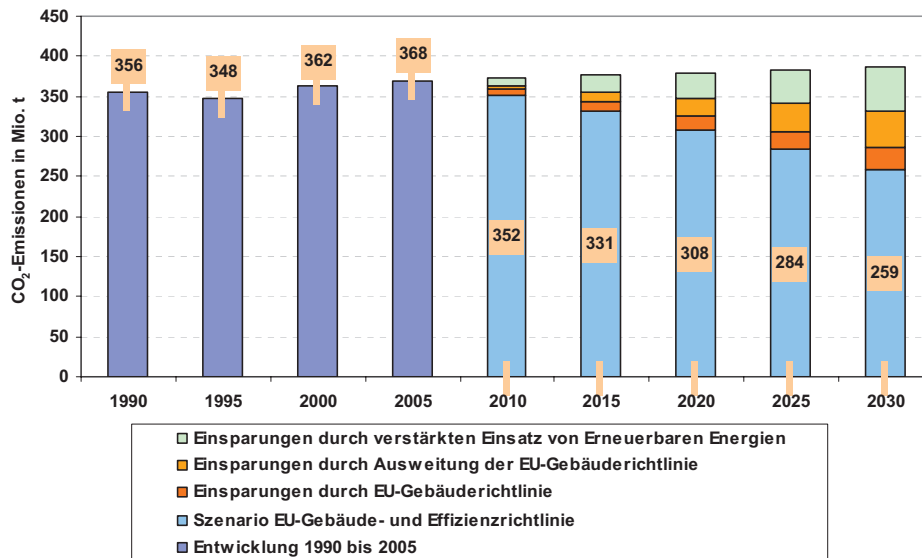


Abbildung 9-5: Entwicklung der CO₂-Emissionen im Szenario "EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie" bis 2030 und differenzierte Darstellung der Einsparpotenziale gegenüber dem Referenzszenario

Anteile der Bauteilsanierungen an der Reduzierung der CO₂-Emissionen

Eine Aufteilung der Gesamteinsparung der CO₂-Emissionen nach den Einzelmaßnahmen zeigt, dass mit einem Anteil von 26 % bzw. 33,5 Mio. t die größten Emissionssenkungen durch den Einsatz neuer Heizkessel erreicht werden (Abbildung 9-6 und Tabelle 9-1). Weitere 25 % bzw. 31,5 Mio. t CO₂ können durch die Dämmung der Fassade gemäß den nationalen Anforderungen eingespart werden. Die Dämmung der Dächer führt zu Gesamteinsparungen von 29 Mio. t und entspricht 23 % der gesamten Emissionseinsparpotenziale dieses Szenarios. Rund. 13 % können durch den Einbau neuer Fenster (17 Mio. t CO₂) und die Dämmung der Keller (16 Mio. t CO₂) verringert werden.

Die länderspezifische Differenzierung der Einzelmaßnahmen zeigt, dass je Bauteil die größten Emissionsreduzierungen in Deutschland erreicht werden können, die sich in der Summe auf rund 42 Mio. t CO₂ belaufen. Dies entspricht einem Anteil an den gesamten Verringerungen der Emissionen im Trendszenario von nahezu 34 %.

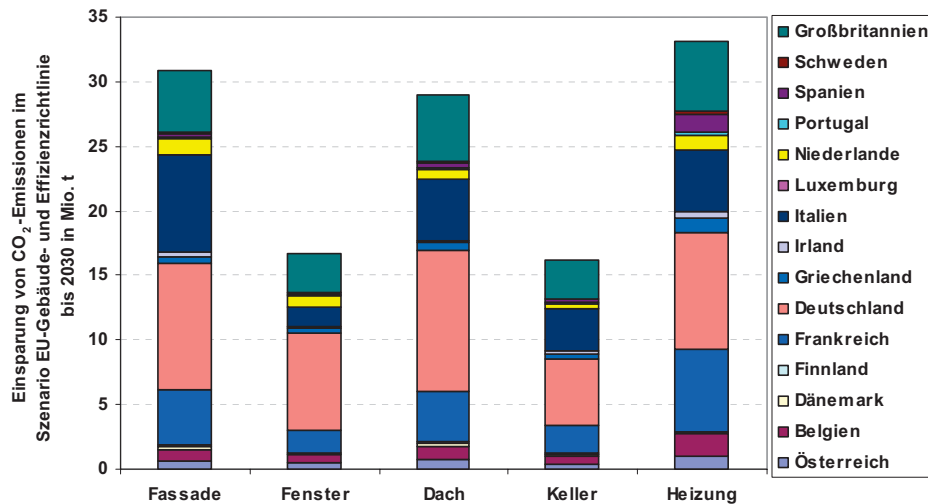


Abbildung 9-6: Emissionsreduktionen der Bauteile im Szenario "EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie" bis 2030

Bezogen auf die länderspezifischen Entwicklungen kann herausgestellt werden, über welche Anteile die einzelnen Länder zur Verringerung der CO₂-Emissionen in diesem Szenario verfügen. Dieser Anteil ist einerseits von den energetischen Anforderungen bei der Durchführung von energetischen Sanierungen und andererseits von der ermittelten Potenzialausnutzung, die in diesem Szenario jeweils konstant unterstellt wird, abhängig. Natürlich spielt auch die Größe des Gebäudebestands eine große Rolle. Die detaillierten Anteile sind in der nachfolgenden Tabelle 9-1 aufgelistet. Diese Tabelle liefert zugleich eine Übersicht derjenigen Länder, die wegen ihrer höheren Anteile zur Verfolgung der CO₂-Einsparungen innerhalb der EU-15 den größten Beitrag leisten könnten.

Der Vergleich der länderspezifischen CO₂-Einsparpotenziale der einzelnen Bauteile ist in Abbildung 9-7 gezeigt. Es können je nach Region in Europa ähnliche Trends aus der Grafik abgelesen werden, denn so können beispielsweise in den südeuropäischen Staaten, mit Ausnahme von Italien (Anzahl der verschiedenen Klimazonen), deutlich weniger relative Verbesserungen durch die energetische Sanierung der Gebäudehülle erreicht werden. In Spanien und Portugal zum Beispiel haben die Heizungssanierungen jeweils einen Anteil von 60 und 62 %. Den geringsten Einfluss von Heizungssanierungen weist das Modell, unter Berücksichtigung des dominierenden Erdgaseinsatzes für Dänemark mit lediglich 2 % zu.

9.2.1 Szenario "EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie"

Mitgliedsstaat	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	in %					
Österreich	0,5	0,4	0,6	0,3	0,8	2,6
Belgien	0,7	0,5	0,8	0,5	1,4	3,9
Dänemark	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,6
Finnland	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4
Frankreich	3,4	1,4	3,0	1,7	5,1	14,6
Deutschland	7,8	6,0	8,7	4,1	7,2	33,7
Griechenland	0,4	0,3	0,5	0,3	0,9	2,4
Irland	0,3	0,1	0,2	0,2	0,4	1,2
Italien	5,9	1,2	3,7	2,6	3,8	17,1
Luxemburg	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3
Niederlande	1,0	0,7	0,6	0,3	0,9	3,5
Portugal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
Spanien	0,2	0,1	0,3	0,2	1,2	2,0
Schweden	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5
Großbritannien	3,8	2,4	4,1	2,4	4,3	17,0
EU - 15	24,5	13,3	23,0	12,9	26,3	100,0

Tabelle 9-1: Länderspezifische CO₂-Senkungspotenziale im Szenario "EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie" bis 2030 in Prozent

Beim Vergleich der Anteile der Bauteile an den Emissionseinsparpotenzialen (vgl. Abbildung 9-7) ist zu berücksichtigen, dass die Verteilung insbesondere von der Bauweise, der Architektur, den klimatischen Bedingungen und dem generellen Zustand der Bauteile vor der Sanierung abhängig ist.

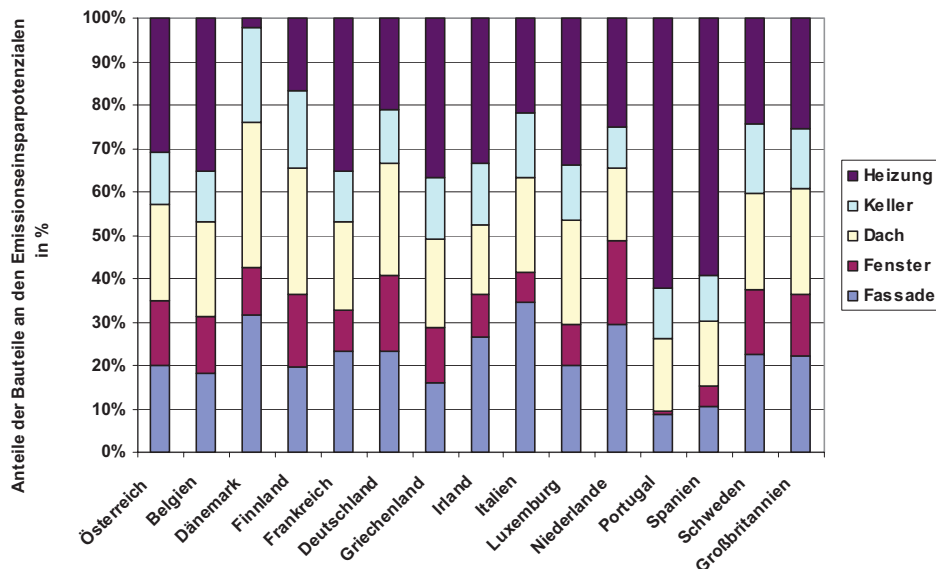


Abbildung 9-7: Bauteilspezifische Anteile der CO₂-Emissionseinsparpotenziale in 2030

Einsparungen nach Gebäudetypen und Altersklassen

Eine Aufschlüsselung der Einsparpotenziale bis 2030 gegenüber dem Referenzszenario nach den Gebäudetypen und hier insbesondere nach den verschiedenen Altersklassen wird in den Abbildungen 9-8 und 9-9 dargestellt. Unabhängig von den absoluten Energieeinsparbeträgen der Baualtersklassen ist in beiden Abbildungen ein ähnlicher Verlauf zu erkennen. Insgesamt ergaben sich nach den Annahmen des Szenarios im Zeitraum von 2006 bis 2030 Einsparungen von knapp 127 Mio. t CO₂, die sich mit 93 Mio. t oder 74 % auf die Wohngebäudegruppe der Ein- und Zweifamiliengebäude und weitere 34 Mio. t bzw. 26 % auf die Mehrfamilienwohngebäude aufteilen. Dies kann einerseits durch die größere Anzahl und andererseits mit den hohen spezifischen Raumwärmeverbräuchen der Ein- und Zweifamiliengebäude gegenüber den Mehrfamiliengebäuden begründet werden.

Bei der Umsetzung des Szenarios werden rund 82 % der CO₂-Emissionsminderungen durch Deutschland mit 34 Mio. t CO₂, Großbritannien und Italien mit 21 Mio. t und Frankreich mit mehr als 18 Mio. t CO₂ erwartet. Dementsprechend zeigen die Berechnungen für die südeuropäischen Mitgliedsländer mit der Ausnahme von Italien, dass diese aufgrund der deutlich kürzeren Heizperioden nur zu geringfügigen Emissionsreduzierungen beitragen können.

Eine Aufteilung der Einsparpotenziale nach Altersklassen führt dazu, dass innerhalb der Klasse von 1961 bis 1980 mit fast 14 Mio. t CO₂, von denen rund 10 Mio. t CO₂ der Gruppe

der Ein- und Zweifamiliengebäude zugeordnet werden können, die größten Emissionsminderungspotenziale ausweist. Allein in Deutschland könnten in dieser Baualtersklasse gut 5 Mio. t CO₂ bzw. 37 % der Emissionen eingespart werden. Diese Altersklasse hat einen Anteil von rund 36 % an der Gesamteinsparung. Der Hauptgrund liegt in dem hohen Anteil dieser Altersklasse am gesamten Gebäudebestand, da in dieser Zeit des wirtschaftlichen Booms in Europa nach dem ersten Weltkrieg viel gebaut wurde.

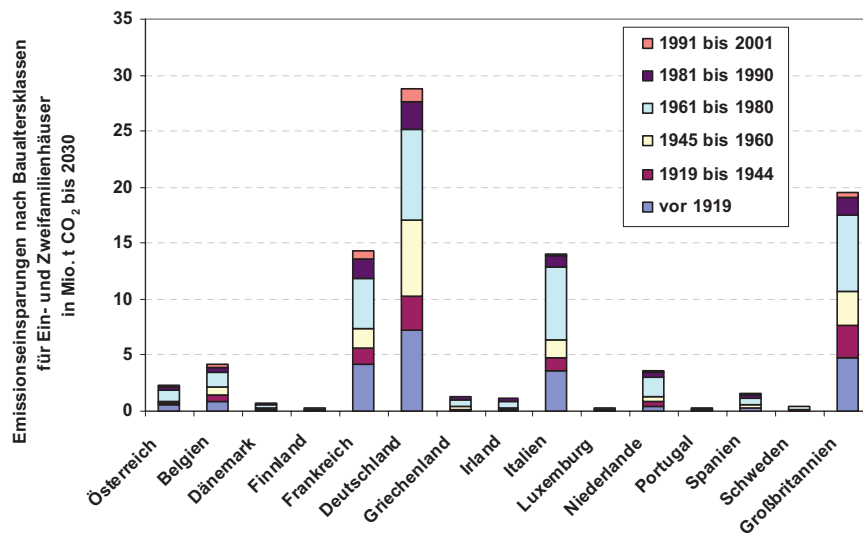


Abbildung 9-8: CO₂-Emissionseinsparpotenzial bei Ein- und Zweifamiliengebäuden im Jahr 2030

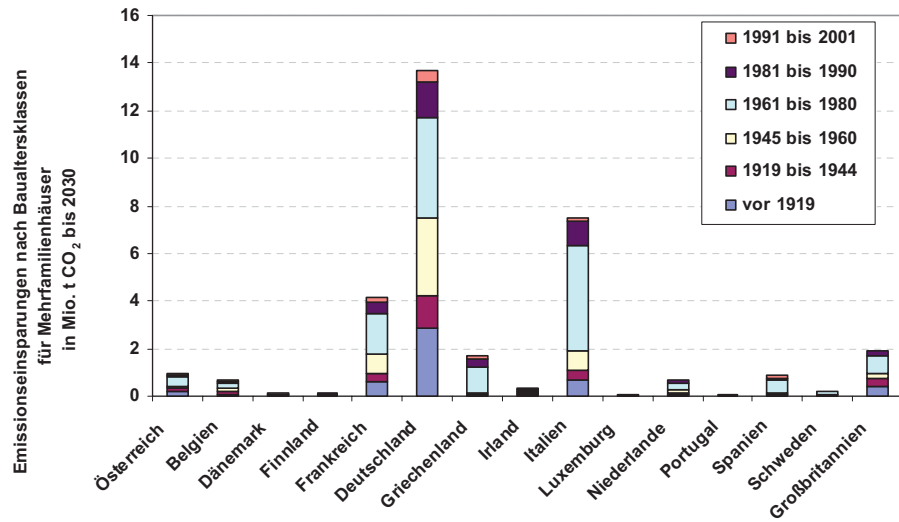


Abbildung 9-9: : CO₂-Emissionseinsparpotenzial bei Mehrfamiliengebäuden im Jahr 2030

9.2.2 Szenario „Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren“

Zielsetzung des Szenarios

In diesem Szenario werden ausgehend von der EU-Effizienzrichtlinie die Wirkungen von verschärften Anforderungen an die Bauteile der Gebäudehülle und die Heizungsanlage sowie der verstärkte Einsatz von erneuerbaren Energieträgern analysiert. Ziel ist eine Einsparung von mindestens 40 % bis 2030.

Die Hauptannahmen für das Szenario:

- Verschärfung der energetische Standards

Unterstellt wird, dass die nationalen Standards für Altbauten bei energetischen Sanierungen mindestens halbiert werden. Ausgehend von den Wärmedurchgangskoeffizienten in 2001 sowie den bereits beschlossenen Verschärfungen des Zeitraums 2005 bis 2009 werden die Anforderungen für alle Mitgliedsstaaten mit Ausnahme von Deutschland in zwei Stufen erhöht. Im Mittel werden die Anforderungen ab 2012 und 2021 um jeweils 25 % verschärft. Aufgrund der besseren Standards in den nordeuropäischen Staaten und in Irland fällt hier die Verminderung der Koeffizienten mit 10 und 20 % etwas geringer aus. Die Steigerungen der Anforderungen an die Gebäudehülle belaufen sich in Bezug auf das Jahr 2001 in den anderen Mitgliedsstaaten auf 60 bis 70 % (vgl. Tabelle 9-2). Durch diese erhöhten durchschnittlichen Anforderungen werden im Mittel in der EU-15 bei den Fenstern U-Werte von 1,1 und bei den anderen Bauteilen von rund 0,2 erreicht.

- Verkürzung der Renovierungszyklen bei Heizkesseln

Neben den bauteilspezifischen Verschärfungen für die Anforderungen an die Gebäudehülle wird eine Verringerung der Renovierungszyklen bei den Heizkesseln um ein Drittel von durchschnittlich 27 auf 18 Jahre im Modell berücksichtigt.

- Steigerung des Anteil von Erneuerbaren Energien

Der Anteil der Wärmeerzeugung durch Erneuerbare Energien wird durch eine deutliche Verringerung des Einsatzes von fossilen Energieträgern nach Tabelle 7-9 und 7-10 (S. 145 und 146) bis 2020 auf rund 25 % und bis 2030 auf nahezu 40 % erhöht.

- Verbesserung der Potenzialausnutzung

In den Berechnungen des Modells wird nach einer Übergangszeit ab 2012 zusätzlich eine Verdopplung der Potenzialausnutzungen angenommen.

9.2.2 Szenario "Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren"

Mitgliedsstaat	2005 - 2009	ab 2012	ab 2021	Verschärfungen insgesamt
	in %			
Österreich	10	30	20	60
Belgien		30	40	70
Dänemark		20	20	40
Finnland		10	10	20
Frankreich		30	30	60
Deutschland	30	30		60
Griechenland		30	30	60
Irland		20	20	40
Italien	20	20	20	60
Luxemburg		30	40	70
Niederlande		30	30	60
Portugal		30	30	60
Spanien		30	30	60
Schweden		10	10	20
Großbritannien		30	30	60

Tabelle 9-2: Durchschnittliche länderspezifische Steigerungsraten der primärenergetischen Anforderungen für die Bauteile der Gebäudehülle

Gesamteinsparung des Szenarios "Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren"

Mit den getroffenen Annahmen sinken die CO₂-Emissionen für Raumwärme von 368 Mio. t im Jahr 2005 um gut 43 % bis 2030 auf 207 Mio. t. Gegenüber dem Ausgangsjahr 1990 entspricht dies einer Reduzierung der Emissionen um rund 42 % bis 2030. Die Einsparungen dieses Szenarios belaufen sich im Vergleich zum Referenzszenario im Jahr 2030 auf 180 Mio. t CO₂ und gliedern sich in die Einsparungen durch die Verdopplung der Potenzialausnutzung mit 80 Mio. t, den Verschärfungen der Bauteilanforderungen mit 56 Mio. t sowie durch den verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien mit 44 Mio. t CO₂.

Die größte Einsparung ergibt sich bei einer Erhöhung der Potenzialausnutzung. Daraus ergibt sich die sehr wichtige Forderung an die Politik, dafür Sorge zu tragen, dass die Richtlinien in der Praxis auch umgesetzt werden.

9.2.2 Szenario "Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren"

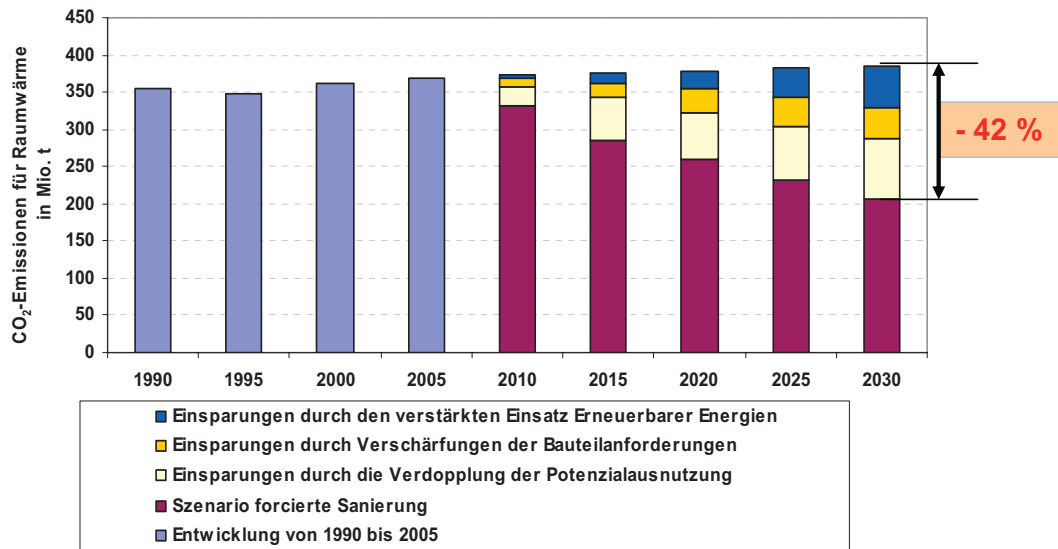


Abbildung 9-10: Entwicklung der CO₂-Emissionen im Szenario "Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren" bis 2030 und differenzierte Darstellung der Einsparpotenziale gegenüber dem Referenzszenario

9.2.3 Vergleich der Szenarien

Emissionsentwicklungen bis 2030

Bezogen auf das Jahr 1990 mit CO₂-Emissionen für die Raumwärme im Wohngebäudebestand von 356 Mio. t CO₂ kann für den Referenzfall bis 2030 eine Steigerung um 8,8 % auf 387 Mio. t festgestellt werden (vgl. Abbildung 9-11). Demgegenüber ergeben sich in den Reduktionsszenarien deutliche CO₂-Emissionseinsparpotenziale bis 2030.

Im Szenario "EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie" werden die Emissionen gegenüber 1990 um mehr als 27 % oder 95 Mio. t CO₂ bis 2030 vermindert. Wegen der Beschränkung der bestehenden EU-Gebäuderichtlinie auf Wohngebäude mit einer Nutzfläche größer 1.000 m² können die Einsparungen gemäß der unterstellten Annahme nur durch eine Ausweitung der vorhandenen Gebäuderichtlinie auf den gesamten Wohngebäudebestand realisiert werden.

Diese Einsparpotenziale des Bestands könnten mit dem Szenario "Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren" bis 2030 zu rund 40 % bzw. 150 Mio. t CO₂ erschlossen werden. Voraussetzungen zur Erschließung dieser Einsparpotenziale sind:

- die Verschärfungen der Mindeststandards,
- die Verringerung der Renovierungszyklen für den Austausch der Heizkessel,
- die grundsätzliche Verdopplung der derzeitigen länderspezifischen Potenzialausnutzungen und
- der verstärkte Einsatz von regenerativen Energien zur Raumwärmeerzeugung.

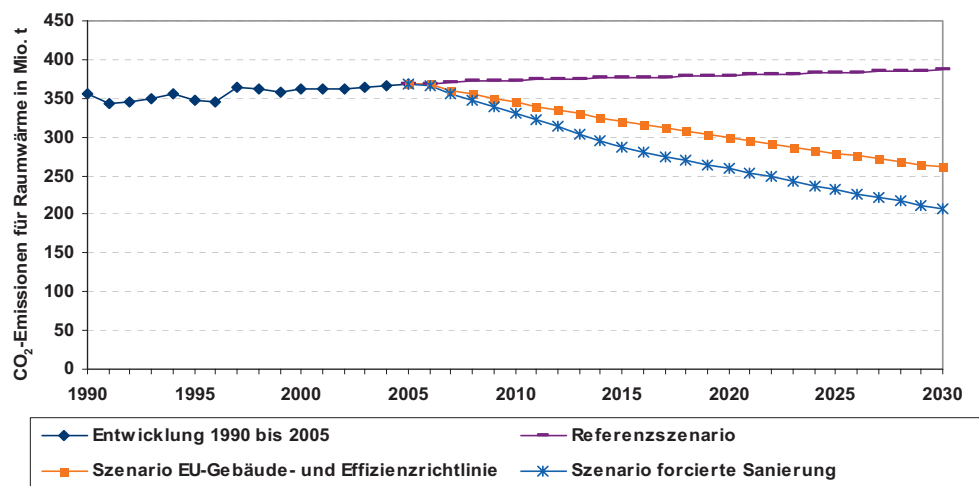


Abbildung 9-11: Vergleich der Emissionsentwicklungen je nach Szenario bis 2030

Beitrag des Wohngebäudebestands zum Klimaschutz in der EU-15

Die Zielsetzungen der europäischen Union, im Rahmen des Kyoto-Abkommens die CO₂-Emissionen bis 2012 um 8,5 % gegenüber 1990 zu reduzieren, können mit den bestehenden Richtlinien und Klimaschutzaktivitäten nicht erreicht werden, weil durch die vollständige Umsetzung der Richtlinien die Emissionen bis 2012 nur um rund 7 % gesenkt werden könnten (vgl. Abbildung 9-12). Im Referenzfall ohne die Beachtung von energetischen Sanierungen würden die Emissionen um 5 % ansteigen. Nur durch eine Verstärkung der energetischen Sanierungen, welche vermehrt die Verwendung von erneuerbaren Energien und eine Ausweitung der Anforderungen der Gebäude Richtlinie auf den gesamten Bestand einschließt und eine Verbesserung der Potenzialausnutzungen berücksichtigt, würde zur Zielerreichung in 2012 führen.

Welchen Beitrag zur Senkung der Emissionen der Wohngebäudebestand in einem Post-Kyoto-Abkommen leisten könnte, wird in den Szenarioergebnissen für das Jahr 2020 aufgezeigt. Dabei wird ersichtlich, dass bei einer Übertragung dieser Vorgaben auf die Raumwärmeerzeugung im Wohngebäudebestand das derzeit diskutierte Reduktionsziel von mindestens 20 % bis 2020 nur durch eine Erweiterung der bestehenden EU-Gebäude Richtlinie auf den gesamten Bestand und eine zügige Umsetzung des Richtlinienentwurfs für die Nutzung von regenerativen Energien realisiert werden kann. Unter den gegebenen Annahmen des Szenarios "Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren" werden mit dem Sanierungsmodell Einsparungen für die CO₂-Emissionen von 27 % bis 2020 gegenüber 1990 berechnet.

Neben den aufgezeigten Potenzialen zur Senkung der Emissionen bis 2030 durch die überlagerten Wirkungen der EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie mit 27 % können die Emissionen mit den unterstellten Bedingungen des Szenarios "Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren" gegenüber 1990 um mehr als 40 % gesenkt werden.

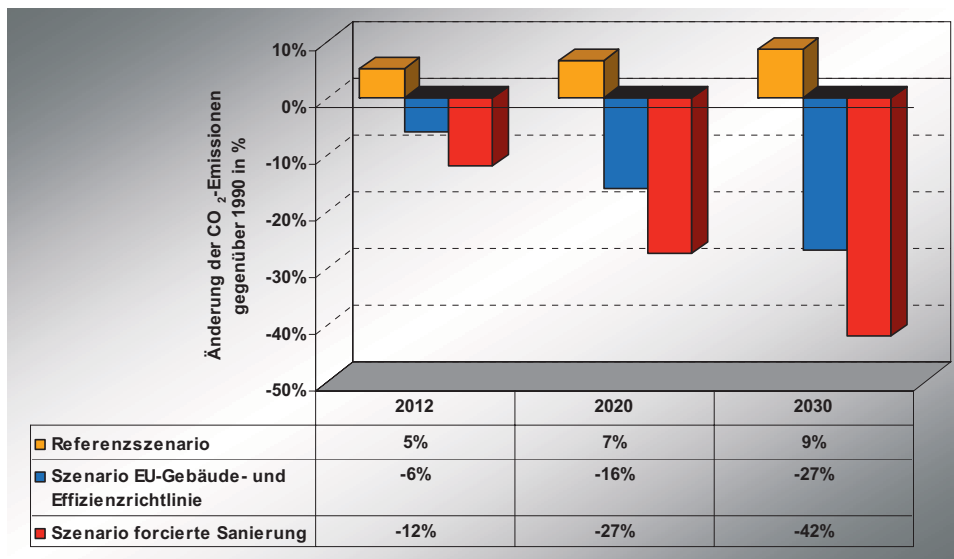


Abbildung 9-12: Vergleich der CO₂-Emissionseinsparpotenziale der EU-15 - Länder für 2012, 2020 und 2030 gegenüber 1990

Einsparpotenziale der Mitgliedsländer

Eine Differenzierung der Einsparpotenziale der Szenarien nach den Mitgliedsländern, wie in der Abbildung 9-13 dargestellt, zeigt, dass die größten Einsparungen in den Staaten Deutschland, Großbritannien, Frankreich und Italien zu erzielen sind. So können beispielsweise im Szenario "Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren" rund 85 % der Potenziale bis 2030 in den zuvor genannten Staaten umgesetzt werden. In den übrigen Ländern ist die Spannbreite der Szenarien eher geringfügig.

Mit Ausnahme von Spanien werden in allen Ländern mit den Reduktionsszenarien mögliche Einsparpotenziale bis 2030 erschlossen. In Spanien werden die Einsparungen durch energetische Sanierungen durch den Mehrverbrauch der Neubauten mehr als kompensiert und führen folglich kumuliert zu Mehremissionen.

9.2.3 Vergleich der Szenarien

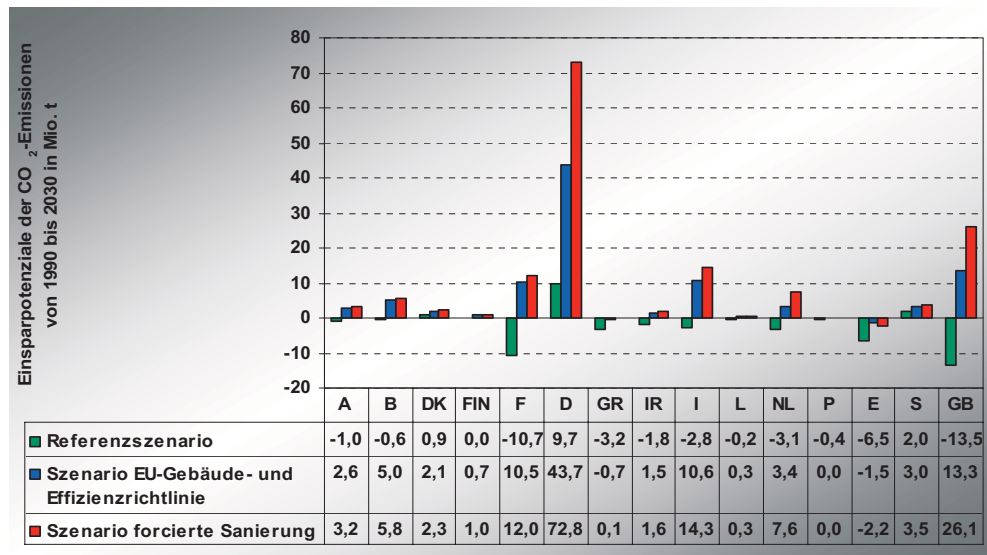


Abbildung 9-13: Länderspezifische Emissionseinsparpotenziale je Szenario bis 2030 bezogen auf die jeweiligen nationalen Emissionen in 1990

Eine bauteilspezifische Betrachtung der Einsparpotenziale ist in der nachfolgenden Abbildung 9-14 aufgeführt. Innerhalb der Szenarien können durch den Wechsel des Heizkessels die größten Emissionssenkungen herbeigeführt werden. Insbesondere im Szenario der forcierten Sanierung können mit mehr als 41 Mio. t CO₂ erhebliche Potenziale erreicht werden. Je 38 Mio. t CO₂ können im Szenario der forcierten energetischen Sanierung durch die Dämmung der Fassaden und Dächer erreicht werden. Weitere Einsparpotenziale dieses Szenarios ergeben sich mit 23 Mio. t CO₂ für die Sanierung der Fenster und rund 21 Mio. t CO₂ für die Dämmung der Kellerdecken. Insgesamt können durch die Dämmung der Gebäudehülle mehr als 120 Mio. t CO₂ eingespart werden.

9.2.3 Vergleich der Szenarien

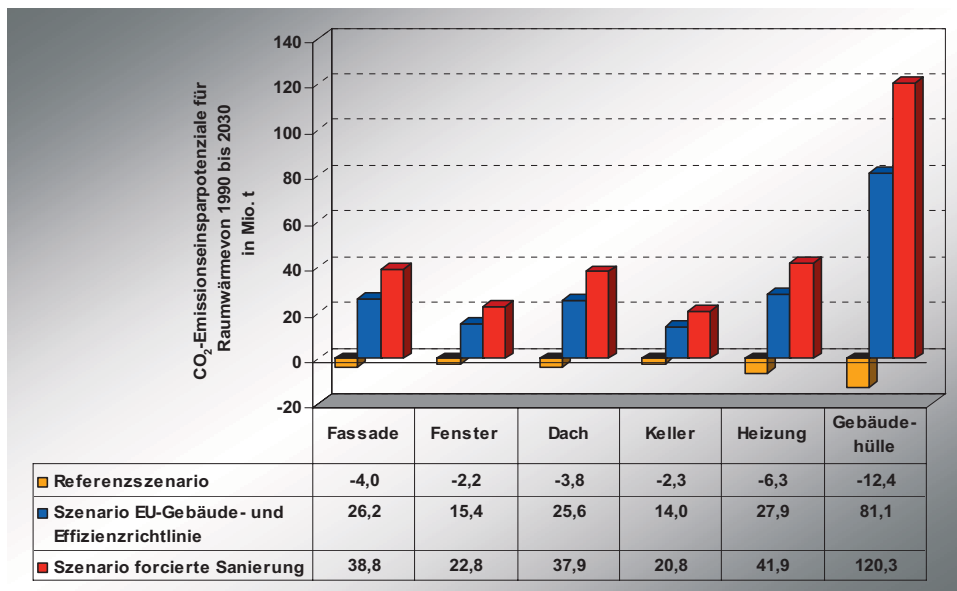


Abbildung 9-14: Bauteilspezifische Emissionseinsparpotenziale je Szenario bis 2030

10. Zusammenfassung und kritische Würdigung

Die Ausgangssituation in der EU

Die europäische Klimaschutzpolitik zur Senkung der CO₂-Emissionen im Gebäudesektor wird zur Zeit durch die Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und die Effizienzrichtlinie sowie von der vorgeschlagenen Richtlinie der EU-Kommission zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen entscheidend geprägt. Diese Rahmenbedingungen definieren die Grundlage für die weitere Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz bei der Sanierung von Altbauten und der Errichtung von Neubauten und machen wirksame Strategien zur Verminderung der CO₂-Emissionen im Wohngebäudebereich erforderlich.

Die Defizite im Gebäudebereich

Im Gebäudebereich der EU sind im Hinblick auf den Klimaschutz folgende Defizite erkennbar:

- Die Datensituation ist noch unzureichend.
- Es gibt keine einheitlichen Kennzahlen, die als Bewertungsmaßstab verwendet werden könnten.
- Die Richtlinien der EU greifen nicht weit genug.
- Der Vollzug insbesondere bei der Modernisierung ist unzureichend.
- Es existieren keine realistischen Potenzialstudien, die eine unzureichende Umsetzung durch mangelnden Vollzug aufzeigen.
- Es ist nicht klar, ob mit den implementierten Richtlinien die gesetzten Minderungsziele erreicht werden können, oder ob weitere Maßnahmen notwendig sind.

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit

Da die europaweite Datensituation, die methodischen Instrumente und die bisher vorliegenden Potenzialeinschätzungen nach der Auffassung des Autors unzureichend sind, besteht die Zielsetzung in der vorliegenden Untersuchung darin, für den europäischen Wohngebäudesektor ein Instrumentarium zur Ableitung der Energieeinsparpotenziale durch energetische Sanierungen zu entwickeln, das im Vergleich zu den bisherigen Ansätzen methodisch auf eine zuverlässigere Basis gestellt wird. Für die Übertragung dieses Ansatzes auf den gesamten europäischen Wohngebäudebestand und zur Herleitung der spezifischen Energie- und CO₂-Emissionseinsparungen ist die vorhandene Datenbasis weiterzuentwickeln, die als Basis für die Erstellung eines Sanierungsmodells zu verwenden ist. Ausgehend von einer umfangreichen Datenbasis und dem entwickelten Instrumentarium zur Bestimmung der Energieverminderungen durch energetische Sanierungen soll dieses

Modell für alle Bauteile der Gebäudehülle sowie die Heizungsanlage und die Wohngebäudetypen sowohl die Berechnung von zukünftigen Einsparpotenzialen im Rahmen von Szenarioanalysen als auch die Ableitung einer energetischen Effizienz für die Bewertung der Sanierungen ermöglichen. Dieses Rechenmodell wird zur Einschätzung von Minderungsszenarien eingesetzt, die für die europäische Klimaschutzpolitik relevant sind.

Kennzahlen zur energetischen Bewertung des Gebäudebestandes

Die realitätsnahe Modellierung der Alterungsprozesse über den Renovierungszyklen erfolgt auf der Basis eines wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatzes. Die Ausfallwahrscheinlichkeiten der Bauteile beim Erreichen der technischen Lebensdauer werden in der Arbeit durch weibullverteilte Funktionen abgebildet. Dabei wird der Alterungsprozess so modelliert, dass für jeden Zeitpunkt ein bestimmter Grad der erreichten Alterung zugewiesen und die Wahrscheinlichkeit für die Ausfallrate, die der relativen Ausfallwahrscheinlichkeit entspricht, bestimmt werden kann.

Durch die kombinierte Darstellung von Alterung und Ausfall und den Bezug zur Wohnfläche kann für jedes Bauteil und für jeden beliebigen Zeitpunkt der Sollwert für die Sanierungsrate und zugleich die relative Häufigkeitsverteilung, die als Sanierungshäufigkeit definiert wird, hergeleitet werden. Diese dient in Verbindung mit den Raumwärmeeinsparpotenzialen durch energetische Sanierungen zur Berechnung der jährlichen Soll-Energieeinsparungen.

Demgegenüber wird die Quantität und Qualität der tatsächlichen Sanierungen mit den Parametern der Ist-Sanierungsrate und der Ist-Energieeinsparung beschrieben. Aus einer Zeitreihenanalyse der Raumwärmeverbräuche von 1990 bis 2001 werden diese Sanierungsparameter als Produkt ermittelt. Die größten Einsparungen wurden nach dieser Analyse in Deutschland und Großbritannien erzielt.

Zur Bestimmung der energetischen Effizienz der Sanierung wird die Potenzialausnutzung definiert, die sich durch das Verhältnis der quantitativ und qualitativ erreichten Energieeinsparung in Bezug zur Einsparung, die bei einer Vollsanierung gemäß der geltenden Verordnung erzielt werden kann, ergibt. Entsprechend der Gegenüberstellung der kumulierten Ist- und Sollwerte aus der Zeitreihenanalyse von 1990 bis 2001 werden die größten Potenzialausnutzungen in Schweden mit 99 %, in den Niederlanden mit 78 % und in Finnland mit 68 % erreicht. In Deutschland werden die Sanierungspotenziale nur zu 36 % ausgeschöpft. Noch deutlich niedrigere Effizienzen bei energetischen Sanierungen werden u.a. in Griechenland mit 17 %, Österreich mit 16 %, Spanien mit 14 % sowie Frankreich und Belgien mit je 12 % und Italien mit nur 9 % erzielt.

Sanierungsmodell

Für die Entwicklung des Sanierungsmodells, das auf einer Excelplattform erstellt worden ist, wird ein gebäudetypologischer Modellansatz gewählt. Neben der Abbildung der Bestandsstruktur zu einem festgelegten Zeitpunkt werden die Prozesse durch die Alterung und die Rahmenbedingungen in das Modell integriert und darauf aufbauend die Entwicklung des Bestands simuliert. Wichtige Rahmenbedingungen für die Erstellung des Modells sind einerseits die europäische Gebäude- und Effizienzrichtlinie sowie der Richtlinienentwurf zur Stärkung der Nutzung von erneuerbaren Energien und andererseits die nationalen Klimaschutzaktivitäten.

Auf der Basis der Parameter zur Wohnungswirtschaft, den Energieverbräuchen und den zugehörigen Energieträgerstrukturen werden im Modell die Alterungsprozesse der Bauteile und die Auswirkungen auf die Sanierungshäufigkeit gemäß der Definition der Sanierungsparameter simuliert. In Bezug auf den Wohngebäudebestand wird durch diese Simulation eine quantitative Bewertung der durchzuführenden Sanierungen ermöglicht. Die Kombination der Soll-Sanierungsraten mit den Soll-Energieeinsparpotenzialen wird zur Ableitung der erzielbaren Raumwärmereduktionen durch Sanierungen genutzt.

Durch die Fortschreibung der Alterungsprozesse und der Berechnung der Sollwerte der Sanierungsparameter ist es in den Szenarien abhängig von der Definition des jeweiligen Szenarios möglich, differenzierte Optionen zur Reduktion des Energiebedarfs und den CO₂-Emissionen aufzuzeigen.

Minderungsszenarien

Um den Spielraum für unterschiedliche Klimaschutzmaßnahmen im europäischen Wohngebäudebestand für Entwicklungen bis 2030 darstellen zu können, werden verschiedene Szenarien definiert. Ausgehend von einem Szenario, das als Referenzniveau für die Berechnung der Einsparungen in den anderen Szenarien dient und lediglich Bestandsveränderungen durch Abrisse und Neubauten berücksichtigt, werden zwei **Reduktionsszenarien** entworfen.

Im **Szenario „EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie“** wird die Zielerreichung der aktuellen Politik auf der Basis der EU-Gebäude- und EU-Effizienzrichtlinie unter der Berücksichtigung der vorgeschlagenen Richtlinie der EU-Kommission zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Energiequellen analysiert. Dabei wird geprüft, ob neben den bestehenden Maßnahmen weitere, zusätzliche Umsetzungsmaßnahmen erforderlich sind.

Um gegenüber den CO₂-Emissionen für Raumwärme ein Reduktionsziel von 40 % umsetzen zu können, wird das **Szenario „Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren“** entwickelt. Zur Realisierung dieses Szenarios werden

grundsätzlich die nationalen Potenzialausnutzungen verdoppelt, die Mindeststandards bei Sanierungen in zwei Stufen um durchschnittlich 30 % verschärft und der Renovierungszyklus für den Austausch der Heizkessel um ein Drittel verkleinert. Zudem wird der Anteil von erneuerbarer Energien in der EU-15 im Szenario auf einen Mittelwert von rund 40 % bis 2030 gesteigert.

Beitrag des Wohngebäudebestands zum Klimaschutz

Die Kennzeichnung des energetischen Ausgangszustands für den Raumwärmeverbrauch in der EU-15 auf der Grundlage der Auswertung der gebäude- und wärmetechnischen Daten zeigt, dass im Bestand in Bezug auf die Anforderungen im Jahr 2001 durch energetische Sanierungen die flächenspezifischen Raumwärmeverbrauchswerte um $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ reduziert werden könnten. Insgesamt ist ein Einsparpotenzial von 65 % bzw. rund 240 Mio. t CO_2 (1.325 TWh) im Altbau vorhanden. Somit ist die verstärkte Reduktion der Emissionen im Wohngebäudesektor zur Erzielung europäischer Klimaschutzziele notwendig. Aus wirtschaftlichen Gründen sind diese Sanierungen sinnvoll, wenn die Erneuerung oder der Austausch von Bauteilen der Gebäudehülle und der Heizungsanlage ansteht. In den Analysen ist der Zeitpunkt der Sanierung eines Bauteils mit dem Ende der technischen Lebensdauer begründet.

Die Zielsetzungen der europäischen Union, im Rahmen des Kyoto-Abkommens die CO_2 -Emissionen bis 2012 um 8,5 % gegenüber 1990 zu reduzieren, können mit den bestehenden Richtlinien und Klimaschutzaktivitäten nicht erreicht werden, weil durch die vollständige Umsetzung der Richtlinien die Emissionen bis 2012 nur um 7 % gesenkt werden können. Nur eine Verstärkung der energetischen Sanierungen, die vermehrt die Verwendung von erneuerbaren Energien einschließt und eine Verbesserung der Potenzialausnutzungen berücksichtigt, würden zu einer Zielerreichung in 2012 führen.

Das derzeit diskutierte Reduktionsziel von mindestens 20 % bis 2020 im Rahmen eines Post-Kyoto-Abkommens kann nur durch eine Erweiterung der bestehenden EU-Gebäuderichtlinie auf den gesamten Bestand und eine zügige Umsetzung des Richtlinienentwurfs für die Nutzung von regenerativen Energien realisiert werden kann. Unter den gegebenen Annahmen des Szenarios "Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren" werden mit dem Sanierungsmodell Einsparungen für die CO_2 -Emissionen von 27 % gegenüber 1990 berechnet.

Für die Senkung der Emissionen bis 2030 können durch die überlagerten Wirkungen der EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie Einsparpotenziale von 27 % gegenüber 1990 erreicht werden. Durch Verschärfungen der Mindeststandards, die Verringerung des Renovierungszyklus der Heizkessel und die grundsätzliche Verdopplung der Potenzialausnutzungen sowie den verstärkten Einsatz von Erneuerbaren Energien können

die Emissionen nach dem Szenarios "Forcierte energetische Sanierung" gegenüber 1990 um rund 42 % gesenkt werden.

Fazit und kritische Würdigung

Mit dem Sanierungsmodell kann erstmalig auf der Basis eines wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatzes das energetische Sanierungspotenzial im Wohngebäudebestand differenziert nach Gebäudetypen und Bauteilen ermittelt werden und unter der Prämisse der Energiestandards das Raumwärmeeinsparpotenzial berechnet werden. Zudem können durch die Szenarien zukünftige Entwicklungen der Klimaschutzaktivitäten analysiert und bewertet werden.

In Bezug auf die Struktur des Modells ist anzumerken, dass in der vorliegenden Arbeit Sanierungen außerhalb der technischen Lebensdauer nicht abgebildet werden können. Aufgrund der mangelnden Daten musste für die Mitgliedsstaaten der EU-15 eine Beschränkung auf den Raumwärmeverbrauch vorgenommen werden. Für die Verbesserung der Datensituation wäre es sehr hilfreich, wenn in allen Mitgliedsländern regelmäßige und einheitliche Erhebungen zu den Sanierungsaktivitäten im Bestand und den energetischen Auswirkungen durchgeführt würden und begleitend ein Monitoring, welches auch den Vollzug zur Umsetzung der Anforderungen bei Sanierungen sicherstellt, installiert würde.

Für ein Folgeprojekt wird vorgeschlagen, das bestehende Modell auf alle 27 Mitgliedsländer und auf die Gebäudegruppe der Nichtwohngebäude zu erweitern und eine Integration der Warmwassererzeugung vorzunehmen. Ein weiterer Forschungsbedarf besteht insbesondere darin, die Auswirkungen der steigenden Energieverbräuche zur Kühlung der Wohngebäude zu analysieren.

Die Resultate der Emissionseinsparpotenziale zeigen eindeutig, dass die derzeit diskutierten Reduktionsziele der EU, die Emissionen bis 2020 gegenüber 1990 um mindestens 20 % zu verringern und den Anteil der Energieversorgung aus erneuerbaren Energiequellen in 2020 auf mindestens 20 % zu erhöhen, ohne eine deutliche Steigerung der Sanierungsaktivitäten und folglich ohne eine Verbesserung der nationalen Potenzialausnutzungen und den verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung im Wohngebäudebestand nicht zu erreichen sind. Hinzu kommt, dass ein Anstieg der Potenzialausnutzung im Vergleich zur Erhöhung der geforderten Mindeststandards eine größere Wirkung zur Senkung der Emissionen besitzt.

Im Hinblick auf die EU-Gebäuderichtlinie und die vorgeschlagene Richtlinie zum verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energien ist eine Erweiterung der Anforderungen bei Sanierungen auf den gesamten Bestand bei gleichzeitiger Verpflichtung der Nutzung von erneuerbaren Energien, die zur überwiegenden Bereitstellung der Wärme im Gebäude dient,

zu empfehlen. Als Maßnahme zur Förderung der Energieeinsparungen im Bestand ist zu überlegen, ob in Anlehnung an das deutsche CO₂-Gebäudesanierungsprogramm aufgrund der nachgewiesenen effektiven Wirkung ein europäisches Förderprogramm installiert werden könnte.

Glossar

A

Alterungsprozess: Die kontinuierliche strukturelle Veränderung von Bauteilen durch Umwelteinflüsse und Beanspruchung und der damit einhergehende Wandel der Eigenschaften und der Funktionsfähigkeit wird als Alterungsprozess bezeichnet. Dieser Prozess hängt stark davon ab, wie das Bauteil konstruiert, eingefügt, benutzt und instand gehalten wurde.

B

Brennwertkessel: Der Brennwertkessel ist ein Heizkessel für Warmwasserheizungen, der es ermöglicht, auch einen Großteil der Kondensationswärme des Wasserdampfes im Abgas für die Wärmeerzeugung zur Verfügung zu stellen.

E

Emissionen: Die Abgabe von Stoffen, Energien und Strahlen an die Umgebung durch eine bestimmte Quelle wird als Emission bezeichnet. Dazu gehören beispielsweise gasförmige Emissionen aus Schornsteinen. Im Hinblick auf die Auswirkungen auf das Klima wird insbesondere Kohlendioxid, das die Luft durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen zusätzlich anreichert, kritisch bewertet.

Endenergie: Als Endenergie bezeichnet man denjenigen Teil der Primärenergie, der dem Verbraucher abzüglich der Berücksichtigung der Verluste durch den Transport und die Umwandlung zur Verfügung gestellt wird. Im Wohngebäudesektor wird zum Beispiel die Energiemenge zur Beheizung und Warmwasserbereitung als Endenergie bezeichnet.

Energetische Sanierung: Die energetische Sanierung führt im Vergleich zu einer rein baulichen Sanierung durch den Einsatz neuer Bauteile und Heizungsanlagen zu einer Steigerung der Energieeffizienz. Durch die Wärmedämmung der Gebäudehülle und den Einsatz

effizienter Heizkessel kann der Raumwärmebedarf deutlich verringert werden. Aus ökonomischen Gesichtspunkten ist es sinnvoll, den Zeitpunkt einer notwendigen baulichen Sanierung mit energetischen Maßnahmen zu verbinden.

Energieausweis: Nach der europäischen Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden sind alle Mitgliedsländer der EU verpflichtet, einen Energieausweis für Gebäude zu fordern. Dieser Ausweis soll Verbraucher über den energetischen Zustand von Gebäuden informieren und Maßnahmen zur Erschließung von Einsparpotenzialen und zur Steigerung der energetischen Qualität aufzeigen.

Energieeinsparpotenzial: Als Energieeinsparpotenzial bezeichnet man diejenige Energiemenge, die durch verbrauchssenkende Maßnahmen, insbesondere energetische Sanierungen, eingespart werden kann.

Energiekennwert: Die zur Beheizung benötigte Raumwärme pro Jahr in Bezug zur beheizten Wohnfläche wird als Energiekennwert bezeichnet. Der flächenspezifische Verbrauch wird als kWh/(m² a) angegeben.

Energieträger: Stoffe oder Quellen, die nutzbare Energie enthalten und durch technische Verfahren abgeben können, werden als Energieträger definiert. Zu den primären Energieträgern gehören fossile, regenerative und nukleare Energieträger. Fossile Energieträger basieren auf organische Kohlenstoff-Verbindungen, die bei der Verbrennung mit Sauerstoff zur Energiefreisetzung in Form von Wärme und der Entstehung von Kohlendioxid führen. Regenerative Energien wie Solarenergie, Windkraft, Geothermie und Wasserkraft sind nach menschlichem Maßstäben unerschöpfliche und sich erneuernde Energien.

G

Gebäudetypologie: Typologien geben Auskunft über eine Einordnung von Gebäuden in ein bestimmtes System, dessen Kriterien nach wissenschaftlichen Maßstäben ausgewählt und festgelegt wurden.

H

Heizlast: Unter der Heizlast wird diejenige Heizleistung verstanden, die einem Raum zur Erhaltung einer Raum-Innentemperatur von 20 Grad Celsius ständig zugeführt werden muss. Diese Heizlast muss der Summe der Wärmeverluste durch Wärmeleitung und Lüftung entsprechen.

K

Kohlendioxid: Das Treibhausgas Kohlendioxid ist mit einem Anteil von ungefähr 0,038 % in der Atmosphäre vorhanden und hat einen Anteil von 20 % am natürlichen Treibhauseffekt. Dieses Gas entsteht u.a. bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern und wird im Mittel erst nach 120 Jahren in der Atmosphäre abgebaut.

Klimaschutzpolitik: Unter der Klimaschutzpolitik wird die Anwendung von politischen Maßnahmen auf internationaler, europäischer, nationaler oder lokaler Ebene zum Klimaschutz verstanden. Das Ziel dieser Politik besteht darin, die Geschwindigkeit und die Auswirkungen der globalen Erwärmung zu reduzieren bzw. zu stoppen.

Kyoto-Protokoll: Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen schreibt verbindliche Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen für Industriestaaten bis 2012 vor. Die Staaten der EU haben sich in einem Burden-Sharing-Abkommen zur Verringerung der Treibhausgase um 8 % bis 2012 verpflichtet.

L

Lüftungswärme: Die Lüftungswärme entspricht der Wärmemenge, die für einen hygienisch notwendigen Luftwechsel zur Erwärmung der zugeführten Frischluft erforderlich ist. Der Lüftungswärmeverlust stellt hingegen jene Wärmemenge dar, die v.a. durch Lüftungsvorgänge und undichte Bauteile der Gebäudehülle aus dem Wohngebäude entweicht.

Leerstand: Wohnfläche in Neubauten oder im Bestand, die derzeit nicht bewohnt ist, wird als Leerstand bezeichnet.

N

Nutzerverhalten: Das Nutzerverhalten beim Heizen ist abhängig vom Beheizungsumfang, von der mittleren Raum-Innentemperatur, dem Wasserverbrauch und dem Luftwechsel.

P

Post-Kyoto-Abkommen: Das Kyoto-Protokoll ist eine Erweiterung der 1992 von der Vereinten Nationen getroffenen Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen. Die Verpflichtungsperiode zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen endet 2012. Derzeit laufen im Rahmen eines Post-Kyoto-Abkommens Verhandlungen für eine weitere Verpflichtungsperiode auf internationaler Ebene. Angestrebt ist die Vertragsstaatenkonferenz im Jahr 2009 zur Verabschiedung eines Nachfolgeabkommens.

R

Raumwärme: Die Raumwärme gibt denjenigen Teil der Endenergie an, der zur Beheizung eines Gebäudes notwendig ist. Der Bedarf an Raumwärme hängt dabei neben der Wohnfläche von der Bauform, der Wärmedämmung und insbesondere vom Nutzerverhalten ab. Die eingesetzte Primärenergie für die Raumwärme ist vom Bedarf und der Bereitstellung der Energie durch die Heizungsanlage abhängig. Der Raumwärmeverbrauch ist mit mehr als 75 % der größte Verbraucher im Haushaltssektor.

Remanenzeffekt: Der Remanenzeffekt beschreibt das Verbleiben von älteren Personen in ihren Wohnungen (häufig Einfamilienhäuser) nachdem die Kinder ausgezogen sind oder der Partner verstorben ist. Hierdurch steigt im Ergebnis die durchschnittliche Wohnfläche pro Person.

S

Simulationsmodell: Ein Simulationsmodell ist ein spezielles Modell, dessen Gegenstand, Inhalt und Darstellung für Zwecke der Simulation konstruiert wird. Dabei werden diejenigen Merkmale des Systems modelliert, die für eine konkret zu lösende Fragestellung von entscheidender Bedeutung sind.

T

Transmissionswärme: Die Transmissionswärme ist die Wärmemenge, die dem Raum zugeführt werden muss, um die Wärmeverluste durch Wärmeleitungen über die Bauteile der Gebäudehülle ausgleichen zu können.

Temperaturbereinigung: Damit der Heizenergieverbrauch verschiedener Jahre und Standorte miteinander verglichen werden kann, müssen die Energieverbräuche temperaturbereinigt werden. Aus diesem Grund werden die jährlichen Gradtagszahlen mit einem definierten Vergleichszeitraum in Relation gesetzt und ein Faktor für die Temperaturkorrektur ermittelt.

Treibhausgase: Treibhausgase sind strahlungsaktive gasförmige Stoffe in der Luft, die zum Treibhauseffekt beitragen. Sie können sowohl einen natürlichen als auch einen anthropogenen Ursprung besitzen. Die Störung des natürlichen Gleichgewichts der Atmosphäre verstärkt den natürlichen Treibhauseffekt und führt zur globalen Erwärmung. Das wichtigste Treibhausgas ist Kohlendioxid.

Technische Lebensdauer: Wenn ein Bauteil stark schadhaft und zudem nicht mehr instandgesetzt werden kann, so verliert es seine Funktionsfähigkeit. Der Zeitraum zum Erreichen dieses

Zeitpunkts wird als technische Lebensdauer von Bauteilen definiert.

W

Wärmeleitung:

Als Wärmeleitung wird der Wärmefluss in einem Kontinuum infolge eines Temperaturunterschieds bezeichnet. Die Wärme fließt dabei in die Richtung der geringeren Energie. Die Wärmeleitung ist ein Mechanismus zum Transport von thermischer Energie. Ein Maß für die Wärmeleitung in einem bestimmten Stoff stellt die Wärmeleitfähigkeit dar.

Literaturverzeichnis

- ALLEN & HINKS (1996), How long should housing last? Some implications of the age and probable life of housing in England. *Construction Management and Economics*, 14 : 531 - 535, 1996.
- ANTINUCCI, VARALDA, DALL'O (2007), Implementation of the EPBD in Italy: Status in January 2007, RENAEL, Italy.
- AUSTRIA (2001), Gebäude- und Wohnungszählung - Hauptergebnisse Österreich, Bundesanstalt Statistik Austria, Wien.
- BADER, SCHWAIGER, FERRARA (2002), Statistische Methoden zur Analyse von Gebäudebeständen - Ein Feld mit weiten Chancen, *Stadtforschung und Statistik*, 1/02:44-47, 2002.
- BALARAS, DROUTSA, ARGIRIOU, ASIMAKOPOULOS (2000a), Potential for energy conservation in apartment buildings, *Energy and Buildings*, 31:2, 143-154.
- BALARAS, DROUTSA, ARGIRIOU, ASIMAKOPOULOS (2000b), EPIQR surveys of apartment buildings in Europe, National Observatory of Athens, Institute of Meteorology and Physics of Atmospheric Environment, Group Energy Conservation, Greece; *Energy and Buildings* 31 (2000), p. 111-128.
- BALARAS, DROUTSA, DASKALAKI (2005a), Deterioration of European apartment buildings, *Energy and Buildings*, 37 (2005), 515-527.
- BALARAS, DROUTSA, DASKALAKI, KONTOYIANNDIS (2005b), Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings, *Energy and Buildings*, 37 (2005), 429-442.
- BALARAS (2003), Benchmarking for existing European dwellings: Appendix II – DENMARK. Task 1 final report. Energy Performance Assessment Method for Existing Dwellings, EPA-ED (report No. EPA-ED NOA 03-01) (pp. 87-110), Athen.
- BAREL (2006), The role of bioenergy in the national legislation and implementing EU directives - France; ADEME, Paris
- BEEREPOOT, et al. (2002), Incorporation of RES in energy policy instruments for new housing in 5 EU member states; Build-On-Res; Task 1: Benchmark of energy performance regulations and incentives, with regard to the incorporation of renewable energy sources, for new housing and extensions to existing housing; OTB Research Institute for Housing, Urban and Mobility Studies, Delft.
- BMVBW (2003), Systematische Instandsetzung und Modernisierung im Wohnungsbestand, Endbericht T 3010, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2003.

- BOE (2006), REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación; BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. MINISTERIO DE VIVIENDA, Spain, Madrid.
- BOSSEL (2004), Systeme, Dynamik, Simulation - Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme, Taschenbuch, Norderstedt, Book on Demand GmbH.
- BRADLEY, et al. (2005), Estimating survival functions of building stocks, International Conference On Durability of Building Materials and Components, Lyon.
- BRANDT, WETZEL, FLOURENTZOU (2000), A Method for predicting residual service life and refurbishment investment budgets - MEDC, *Energy and Building*, 31 (2000), 167-170.
- BRE (2002), Labelling and other measures for heating systems in dwellings, FINAL TECHNICAL REPORT, European Commission (EC), Building Research Establishment Ltd. (BRE), London.
- BRE (2003a), A detailed analysis of the historical role of energy efficiency in reducing carbon emissions from the UK housing stock. Building Research Establishment Ltd. (BRE), London.
- BRE (2003b), Domestic energy fact file 2003, Building Research Establishment Ltd. (BRE), London.
- BRE (2006), Domestic energy fact file 2006. London, Building Research Establishment Ltd. (BRE).
- BUCHER & FRANGOPOL (2006), Optimization of lifetime maintenance strategies for deteriorating structures considering probabilities of violating safety, condition and cost thresholds, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 21 (2001)-8, 2006.
- BURKHARDT & KRAUS (2006), Projektierung von Warmwasserheizungen, Oldenbourg Industrieverlag, München.
- CHRISTENSEN, et al. (1995), Developing Energy Audits in the Housing Sector, Lessons learned for the Organization for Energy Audits in Denmark and Schleswig - Holstein, AKF - Verlag, Kopenhagen.
- CRAMES & BOHRMANN (2002), Options and potentials of energy diaries as a tool for identifying potential energy savings through behavioural changes, Öko-Institut e.V., Berlin.
- DAVID, ELSBERGER, ROUVEL(2001), Gebäude- und Beheizungsstruktur der Wohngebäude in den Alten und Neuen Bundesländern. IKARUS - Instrumente für Klimagas - Reduktionsstrategien, Teilprojekt 5: Haushalte und Kleinverbraucher, Institut für Energietechnik, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik (5-34), TU München.

- DENA (2005), Feldversuch zur Einführung der Energieausweise, Deutsche Energie - Agentur (Dena), Berlin.
- DICKE et al. (2004), Energy Performance of Buildings - Task B4, ENPER - TEBUC, SAVE programme 4.1031/C/00-018, B4: Application of Energy Performance Regulations to Existing Buildings, Energy Performance of Buildings - Towards a European Building Code (ENPER - TEBUC).
- DIN 277 (2005), Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIMOUDI (2005), Renovation in residential buildings - Greece. Ministry of the Environment, Physical Planning & Public Works; Division of Housing Policy & Shelter (Ref. No. 28204/367), Athen.
- DYRBØL, TOMMERUP, SVENDSEN(2005), Savings potential in existing Danish building stock and new constructions, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark and Rockwool International (Hedehusene), report R-080, Stockholm.
- EBEL & KAH (2003), Tracergasmessungen: Auswirkung von Fensteröffnung bei kontrollierter Lüftung, 7. Passivhaus – Tagung, Darmstadt
- EC (2002a), Labelling and other measures for heating systems in dwellings; FINAL Technical report; Appendix 4 - Stock model of residential heating systems; European Commission (EC), DG for ENERGY and TRANSPORT..
- EC (2002b), Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, Kommission der Europäischen Gemeinschaften (EC); Amtsblatt L 1/65-70, 4.1.2003, Brüssel.
- EC (2003), European Energy and Transport Trends to 2030; Appendix 2: Summary Energy balances and Indicators; EUROPEAN COMMISSION (EC), DG for ENERGY and TRANSPORT.
- EC (2006), RICHTLINIE 2006/32/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/ EWG des Rates. L 114/64, DE, Amtsblatt der Europäischen Union (27.04.2006).
- ECOFYS (2002), The Contribution of Mineral Wool and other Thermal Insulation Materials to Energy Saving and Climate Protection in Europe; Report by Ecofys for EURIMA - European Insulation Manufacturers Association. ECOFYS GmbH, Köln.
- EEA (2002), Greenhouse gas emission trends in Europe, 1990–2000, European Environment Agency (EEA). Topic Report //2002, Kopenhagen.
- EEA (2005a), Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2003 and Inventory report 2005, EEA Technical report, European Environment Agency (EEA), Kopenhagen.

- EEA (2005b), Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2005 - report no. 8/2005, European Environment Agency (EEA), Kopenhagen.
- EEA (2007), Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2005 - report No. 5/2007, European Environment Agency (EEA), Kopenhagen.
- EICHHAMMER (2003), The current state of energy efficiency in Belgium - Final report for the ministry of Economis Affairs, Belgium, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Karlsruhe.
- EICHHAMMER & RIEDER (2005), Internationaler Vergleich von Energiestandards im Baubereich, im Auftrag von Bundesamt für Energie BFE, Institut für Politikstudien Interface GmbH, Luzern, Fraunhofer-Institut Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe, Bern.
- EISCHEN (2007), Implementation of the EPBD in Luxembourg: Status and Planing, Ministry of Economy and Foreign Trade, Luxembourg.
- EISENMANN (1997), Entwicklung einer allgemeinen Bewertungsmethode für Heiz- und Trinkwassererwärmungssysteme am Beispiel einer Wohnung in einem Mehrfamilienhaus. Institut für Kernenergetik und Energiesysteme, Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik, Universität Stuttgart.
- EKERSCHOT & HEINEMANS (2007), Implementation of the EPBD in The Netherlands: Status and Planing (P56; 16.11.2007), Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment; Senter Novem, The Netherlands.
- EMPIRICA (2005), Wohnungsmarktübersicht - Techem-empirica-Leerstandsindex, Empirica, Forschung und Beratung, Berlin.
- EN 832 (2003), Berechnung des Heizenergiebedarfs - Wohngebäude, Europäisches Komitee für Normung (CEN).
- EN 12831 (2003), Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm - Heizlast, Beuth; Berlin; 2003.
- EN 13790 (2003), Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung (ISO/DIS 13790:2005), Deutsche Fassung prEN ISO 13790:2005.
- ENERDATA (2002), Odyssee Project: energy efficiency data and indicators for Europe, Enerdata, France, Grenoble-Gières.
- ENERDATA (2006), Odyssee - Datenbank, database of reference on energy efficiency monitoring for Europe, project between ADEME, the EIE programme of the European Commission/DGTREN and energy efficiency agencies, ENERDATA - manager of ODYSSEE database.
- ENEV (2002), Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV).

- Bundesgesetzblatt I S. 3085, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin.
- ENEV (2007), Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV), Bundesgesetzblatt I S. 3146, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin.
- ESDORN (1997), Erfordern hochgedämmte Gebäude neue Auslegungsmethoden für Heizungssysteme. HLH, Nr.6 / 1997; VDI, Düsseldorf.
- EU-KOMMISSION (2008), RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (von der Kommission vorgelegt), KOM(2008) 30, Brüssel.
- EU (1999), EU - Rahmenprogramm „Maßnahmen im Energiebereich“ [Amtsblatt L 7 vom 13.1.1999] von 1998 bis 2002. Directorate D, Unit D-4: Energy and Transport, Brüssel.
- EU (2005), Strategies in favour of the reduction of CO₂ - emissions in the housing sector - Results of Survey, Report of the EU expert meeting, Luxembourg, Ministère des Classes moyennes, du Tourisme et du Logement, Department du Logement, Luxembourg.
- EURIMA (2001), Impact of EP regulations - experiences from the insulation industry, Rockwool Benelux, European Insulation Manufacturers (EURIMA), Brüssel.
- EURIMA (2002), Die maßgebliche Bedeutung der Gebäudedämmung für die Umwelt, European Isolation Manufacturers Association (EURIMA), Brüssel.
- EUROSTAT (2005), Temperature correction of final energy consumption, "Energy Statistics Committee", Luxemburg.
- EUROSTAT (2006), Energiebilanzen - Daten 2004, Eurostat - Themenkreis Umwelt und Energie, Luxemburg.
- EVA (2000), Wohngebäudesanierung mit Einspar - Garantie - Entwicklung des österreichischen Wohnungsmarktes. Energieverwertungsagentur (E.V.A.), Wien.
- EVA (2001), FTE - Strategie für die nachhaltige Althausanierung, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Energieverwertungsagentur (E.V.A.), Wien.
- EVA (2002), Überlegungen zu einer Klimaschutz - Selbstverpflichtung des IWO, Energieverwertungsagentur - the Austrian Energy Agency (E.V.A.), Wien.
- EVA & UBA (2006), EVALUIERUNGSBERICHT ZUR KLIMASTRATEGIE 2002 - Endbericht, im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Energieverwertungsagentur (E.V.A.), Umweltbundesamt (UBA), Wien.

- FABERI & ENEI (2000), Best available technologies in Housing - Italian Case Study, Istituto di Studi per l'Integrazione dei Sistemi Isis, Rom.
- FEIST (1994), Thermische Gebäudesimulation, Kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze, Verlag C.F. Müller, Heidelberg 1994.
- FELGNER, MERZ, AGUSTINA, CLADERA BOHIGAS, LITZ (2002), Simulation thermischer Gebäudedynamik in Modelica, 16, Symposium Simulationstechnik (ASIM 2002), Rostock, Universität Kaiserslautern, Fachbereich EIT, Lehrstuhl für Automatisierungstechnik, Kaiserslautern.
- FERRARA, BADER, FERRARA (2001), Methode zur Analyse von Gebäudebeständen, Alterungsmodelle und Prognose von Stoffströmen mit Anwendung auf den Gebäudebestand der Stadt Ettlingen, Institut für Industrielle Bauproduktion, Universität Karlsruhe, 2001, Arbeitsbericht.
- FERRARA (2004), Validierung eines integrierten, dynamischen Modells des deutschen Gebäudebestandes, Abschlussbericht des DFG - Projekts.
- FIEC (2001 - 2005), Die Bautätigkeit in Europa. Brüssel, Verband der Europäischen Bauwirtschaft.
- FINK, SCHLAKE, SIEBE (2001), Erfolg durch Szenario-Management - Prinzip und Werkzeuge der strategischen Vorausschau, Campus-Verlag, Frankfurt/Main.
- FOUREZ (2007), Implementation of the EPBD in Belgium (Walloon Region): Status May 2007, Ministry of the Walloon Region, General Directorate of technology, Research and Energy.
- FRANZKE & RAUCH (1988), Simulation mit Reaktion der Subsysteme, Einsatz von Simulationssoftware als Hilfsmittel für die Planung von Steuerungs- und Regelungskonzepten für die Wärmeversorgung von Gebäuden, HLH 40, Nr. 5.
- FVHF (2002), Fassadenmarktstudie 2002, im Auftrag von Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden (FVHF e.V., Berlin), M&V - Marketing und Vertriebsberatung und Partner, Saarbrücken.
- GARAVAGLIA, GIANNI, MOLINA (2004), Reliability of Porous Materials: Two Stochastic Approaches, Journal of Materials in Civil Engineering 2004, Dept. of Structural Engineering, Politecnico of Milan, Milano, p. 419-426.
- GEIGER & WAGNER (2005), Steigerung der Energieeffizienz in privaten Haushalten - Stand, Probleme, Perspektiven, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 55.Jg, 2005, Heft 4, etv-Verlag, Essen, S.214-218.
- GEPVP (2000), Low - E - Glas in Buildings - Impact on the environment & on energy savings, European Association of Flat Glass Manufacturers, Brüssel.
- GEPVP (2005), Energy & Environmental benefits from advanced double glazing in EU buildings. European Association of Flat Glass Manufacturers, Brüssel.

- GESCHKA & HAMMER (1986), Szenario - Technik in der strategischen Unternehmensplanung, in: Hahn, Taylor (Hrsg.): Strategische Unternehmensplanung, 4. Auflage, Physica, Heidelberg, Wien.
- GfK (2003), Der Renovierungsmarkt in Deutschland, GfK Panel Services Consumer Research GmbH, Nürnberg.
- GLESSON (1985), Estimating housing mortality from loss records, *Environment and Planning*, 17 : 647 - 659, 1985.
- GLESSON (1986), Estimating housing mortality with standard loss curves, *Environment and Planning*, 18 : 1521 - 1530, 1986.
- GORETZKI (2003), PC-Programm "AV plan" - Gebäudegeometriebedingter Wärmeverlust, mittleres A/V-Verhältnis und Wohnfläche städtebaulicher Entwürfe, Institut für solare Stadtplanung; Solarbüro für energieeffiziente Stadtplanung - Dr.-Ing. Peter Goretzki, Stuttgart.
- GRACCEVA & CONTALDI (2004), Scenari energetici Italiani - Valutazione di misure di politica energetica, Rom, ENEA
- GREECE (2002), Greece in figures 2002, National Statistical Service of Greece, Athen.
- GROOTE (2005) Country Report Belgium - University of Gent, IEA DSM Evaluation guidebook Volume II, 10/2005, 17-33.
- GRUSON (1993), Kostenermittlung von wärmetechnischen Maßnahmen an der Gebäudehülle, IKARUS - Projektbericht 5-10, Forschungszentrum Jülich, Jülich.
- HAAKANA (2007), Implementation of the EPBD in Finland: Status May 2007, Ministry of the Environment, Finland.
- HALL (2004), Untersuchungen zum thermisch induzierten Luftwechselfpotential von Kippfenstern (Dissertation), Bauphysik, 26:3, 109-115.
- HANSEN (2001), Renovierung im Gebäudebestand - Analyse der 1%- Gebäude- und Wohnungsstichprobe, Studienarbeit (unveröffentlicht), Institut für Systemtechnik, Arbeitsgruppe Umwelttechnik, Universität Siegen.
- HANSEN & WISSEL (2005), Entwicklung von Kennziffern zur Charakterisierung des europäischen Gebäudesektors; STE - Arbeitsbericht. Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung - Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE), Jülich.
- HARTUNG (1998), Statistik – Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, 11. Auflage Oldenburg Verlag, München .
- HÄUSLEIN (1993), Wissensbasierte Unterstützung der Modellbildung und Simulation im Umweltbereich, Konzeption und prototypische Realisierung eines Simulationssystems, Europäische Hochschulschriften, Reihe XLI, Informatik, Band 12, Frankfurt/Main, Berlin, Bern, New York, Paris, Wien.

- HEINZE (2002), Modernisierungsmarkt 2002 - Modernisierungsaktivitäten von Bewohnern und privaten Vermietern im Wohnungsbau nach Produktbereichen, Heinze Bau - Marktforschung GmbH, Celle.
- HEINZE (2004), Bauen in Deutschland - Ausgewählte Struktur- und Entwicklungsdaten 12/2004, Heinze Marktforschung; Springer Bau Medien GmbH, Celle.
- HENNING & KLAPROTH (2004), Integration der Wartung und Instandhaltung von Gebäuden in der Planungsphase, Informationsdienst für zukunftsfähiges Management, Bielefeld
- HERRERA (2007), Implementation of the EPBD in Spain: Status May 2007, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía - IDAE.
- HIRSCHBERG (2002), An die Übergabe gekoppelt - Berechnung der Wärmeabgabe von Heizrohrnetzen und des elektrischen Energieaufwands für die Umwälzung. Heiztechnik - HLH Bd. 53 (2002) Nr.9:32-35.
- HOFFMANN (1998), Matlab und Simulink: Beispielorientierte Einführung in die Simulation dynamischer Systeme, Addison-Wesley-Longman, Bonn
- HOUSING STATISTICS (2002), Housing Statistics in the European Union 2002, International Centre for Research and Information on the Public and Cooperative Economy (CIREC), University of Liege, Belgium, Liege.
- HOUSING STATISTICS (2003), Housing Statistics in the European Union 2002, International Centre for Research and Information on the Public and Cooperative Economy (CIREC), University of Liege, Belgium, Liege.
- HOUSING STATISTICS (2004), Housing Statistics in the European Union 2003, National Agency for Enterprise and Housing, Denmark, Copenhagen.
- HOUSING STATISTICS (2005), Housing Statistics in the European Union 2004, National Board of Housing, Building and Planning, Sweden; Ministry of Regional Development of the Czech Republic, Karlskrona.
- HOVDE (2004), FACTOR METHODS FOR SERVICE LIFE PREDICTION, CIB W080 / RILEM 175 SLM Service Life Methodologies Prediction of Service Life for Buildings and Components, Task Group Performance Based Methods for Service Life Prediction, State of the Art Reports, PART A
- IC (2002), The Window Markets in western and eastern Europe - State of play and further development, InterConnection Consulting Group (IC), München.
- IC (2003a), Berechnung und Prognose des deutschen Fenstermarktes. InterConnection Consulting Group (IC), München.
- IC (2003b), Der österreichische Fenstermarkt - Trends für 2003 und 2004, Marktsituation und Nischen, InterConnection Consulting Group (IC), Wien.

- IC (2004), 1. Europatag - Fenster, Fassaden & Türen in Europa, Marktentwicklung, aktuelle Prognosen und Wachstumsstrategien, InterConnection Consulting Group (IC), München.
- IEKP (2007), Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm, Gemeinsamer Bericht des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.
- IEMB (1998), Ökologische Bewertung der verwendeten Baumaterialien, Gutachterliche Stellungnahme des Instituts für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V., TU Berlin, Berlin.
- IEMB (2004), Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten, Info-Blatt Nr. 9.9, Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V., TU Berlin, erstellt im Auftrag für das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Hrsg. Kompetenzzentrum "kostenmäßig qualitätsbewusst Bauen", Berlin.
- IFO (2005), Euroconstruct - Winterkonferenz : Wohnungsfertigstellungen in Europa bleiben auf hohem Niveau, Institut für Wirtschaftsforschung, 59. Jahrgang - ifo Schnelldienst 5/2006, München.
- IFO (2006), 60th Euroconstruct Conference Barcelona 2005, Member of Germany: Institut für Wirtschaftsforschung, München.
- IHLE (1997), Der Heizungsingenieur 3. Lüftung und Luftheizung. Werner, Neuwed.
- IPCC (2007), IPCC Fourth Assessment Report, Synthesis Report, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- ISI (2001), Greenhouse gas reductions in Germany and the UK - Coincidence or policy induced? - An analysis for international climate policy, on behalf of the German Federal Ministry of the Environment (BMU) and the German Federal Environment Agency (UBA), Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI); Science Policy and Technology Policy Research (SPRU); Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Stuttgart.
- ISIS (2006), MURE II Database - households, IEE programme of the EU. MURE (Mesures d'Utilisation Rationnelle de l'Energie); Institute of Studies for the Integration of Systems (ISIS), Rom.
- IWU (2005), Wärmedämmung von Außenfassaden mit der hinterlüfteten Fassade, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung (Wiesbaden), Darmstadt.
- JÄGER (1995), Gutachten zum Recycling von Wärmedämm-Verbundsystemen mit Styropor, Ingenieurgemeinschaft Umwelt - Technik - Bau.

- JAGNOW (2004), Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungsanlagentechnik (Dissertation), Fakultät Bauwesen der Universität Dortmund, Dortmund.
- JANSSEN (2005), Towards Energy Efficient Buildings in Europe - Final Report, EuroACE - The European Alliance of Companies of Energy Efficiency in Buildings, Energy Consultant, UK, London.
- JENSEN (2004), Barriers for realising energy savings within buildings, Danish Building Research Institute (SBI), Hørsholm.
- JILEK (2007), Implementation of the EPBD in Austria: Status March 2007, Energy Commissioner of Styria; Representative of the Austrian Bundesländer.
- JOHNSTONE (2001a), Energy and mass flow of housing. Estimating mortality. Building and Environment, 36(1) : 43-51, 2001.
- JOHNSTONE (2001b), Periodic refurbishment and reductions in national costs to sustain dwelling services, Construction Management and Economics, 19:97-108, 2001.
- KAHN & WIENER (1968), Ihr werdet es erleben, Voraussagen der Wissenschaft bis zum Jahre 2000, Wien.
- KARLSSON & ROOS (2004), Evaluation of window energy rating models for different houses and European climates, Solar Energy, 76:1-3, 71-77.
- KERNÖCKER (1999), Wohnqualität in Oberösterreich - Mikrozensus 1997/3, Land Oberösterreich, Linz.
- KLEEMANN (2003) Aktuelle Einschätzung der CO₂-Minderungspotenziale im Gebäudebereich, Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung - Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE), Jülich.
- KLEEMANN & HANSEN (2005), Evaluierung der CO₂-Minderungsmaßnahmen im Gebäudebereich, im Auftrag von Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung - Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE), Schriften des Forschungszentrum Jülich, Reihe Umwelt, Band 60, Jülich.
- KLEEMANN, KRAFT, KUCKSHINRICHS, HECKLER (2003a), Klimaschutz und Beschäftigung durch das KfW-Programm zur CO₂-Minderung und das KfW-CO₂-Gebäudesanierungsprogramm, im Auftrag der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung - Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE), Schriften des Forschungszentrum Jülich, Reihe Umwelt, Band 34, Jülich.
- KLEEMANN, HECKLER, KRÜGER (2003b), Umweltschutz und Arbeitsplätze angestoßen durch die Tätigkeiten des Schornsteinfegerhandwerks - Auswertung von Schornsteinfeger - Daten, im Auftrag des Bundesverbands des

- Schornsteinfegerhandwerks, Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung - Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE), Schriften des Forschungszentrum Jülich, Reihe Umwelt, Band 36, Jülich.
- KLEIN, BECKMAN, DUFFIE, MITCHELL (1996), TRNSYS - A transient system simulation program, Solar Energy Laboratory University of Wisconsin, Madison.
- KRUG (1985), Wirtschaftliche Instandhaltung von Wohngebäuden durch methodische Inspektion und Instandhaltungsplanung, Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb, Technische Universität Braunschweig.
- KÖHNE (1997), Wirtschaftliche Restnutzungsdauer landwirtschaftlicher Wirtschaftsgebäude, HLBS Report 1-97.
- KOLKMAN (1999), Estimation of energy savings by replacement of fuel oil and gas boilers, Development of a boiler classification and acquisition of national data according to this system. Centre of Gas Technology - GASTEC NV, European Commission, , report - no.: HGT/487/KMN/101, Apeldoorn.
- KOLLMANN (2005), Vorlesung "Einführung in die Umwelttechnik, Ganzheitlicher Umweltschutz", Institut für Systemtechnik, Arbeitsgruppe Umwelttechnik, Universität Siegen.
- KOLLMANN (2006), Vorlesung "Stoffstrommanagement und Recycling", Institut für Systemtechnik, Arbeitsgruppe Umwelttechnik, Universität Siegen.
- KRAFT (2002), Einsparpotenziale bei der Energieversorgung von Wohngebäuden durch Informationstechnologien (Dissertation), Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung - Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE), Schriften des Forschungszentrum Jülich, Energietechnik, Band 23, Jülich.
- KREIMEYER (2004), Grunddaten zum Bau- und Bauelementen-Markt in Deutschland. Detail-Marketing-Dienste (DMD), Bau-Marktforschung, Essen.
- LAUSTSEN & LORENZEN (2003), Danish Experience in Energy Labelling of Buildings, Danish Energy Authority, Kopenhagen.
- LAZARI & LAMBROPOULOU (2004), Frames - Draft country report - Greece, a SYVE - project co-ordinated by the Austrian Energy Agency (E.V.A.), CRES - Centre for Renewable Energy Sources, Frames - Framework Innovations for Building Renovation, Wien/Athen.
- LIDDAMENT (1986), Air infiltration calculation techniques – an applications guide, IEA, Air Infiltration and Ventilation Center (AIVC), Bracknell, United Kingdom.
- LOGA (2005), Entwicklung eines Flächenschätzverfahrens zur Abschätzung von Bauteilflächen als Grundlage für die energetische Bewertung von Wohngebäuden. Bauphysik, 27:2, 102-116.

- LOGA & IMKELLER - BENJES (1997), Energiepass Heizung / Warmwasser. Institut für Wohnen und Umwelt und Impulsprogramm Hessen, Darmstadt.
- MAAS (1995), Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung; Dissertation; Universität Kassel, Fachbereich Architektur, Kassel.
- MALDONADO (2006) Portugal: New Building Regulations in Portugal in effect after 3 July 2006, University of Porto - Portugal, EPBD: Coordinator - Buildings Concerted Action, Porto.
- MENKHOFF (1995), Was kostet die Wand?, Langfristige Preisvergleiche unterschiedlicher Wandkonstruktionen, in Fachzeitschrift: bi Bauwirtschaftliche Informationen (1995)Nr.5, S.63-72 (9 S.).
- MERZ (2002), Objektorientierte Modellierung thermischen Gebäudeverhaltens (Dissertation), Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern.
- MEYER (2002), Energia Portugal 2001, Ministério da Economia - Energy Management and Policy, Lissabon.
- MEYER (1994), Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten, Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten, Impulsprogramm Bau, Bundesamt für Konjunkturfüragen, Bern.
- MEYER & WOLTER (2003), Gesamtwirtschaftliche und ökologische Wirkungen der Förderung von Investitionen zur Verbesserung der Wärmedämmung von Fenstern, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) mbH, Osnabrück.
- MOSER (2004), Engineering design methods for service life predication, Service Life Methodologies Prediction of Service Life for Buildings and Components, Task Group Performance Based Methods for Service Life Prediction, State of the Art Reports, PART B
- NÄSSEN & HOLMBERG (2005), Energy efficiency--a forgotten goal in the Swedish building sector?, Energy Policy, 33:8, 1037-1051.
- NATIONAL STATISTICS (2001), Nationale Angaben der statistischen Ämter zu den Wohnflächen, der Bevölkerung, der Bevölkerungsvorausberechnung und der Haushaltsstruktur: www.statistik.at; www.statbel.gov.be; www.ens.dk; www.stat.fi; www.insee.fr; www.destatis.de; www.statistics.gr; www.environ.ie; www.istat.it; www.statec.lu; www.cbs.nl; www.ine.pt; www.ine.es; www.scb.se; www.statistics.gov.uk.
- NHD (2006), THE REGULAR NATIONAL REPORT ON HOUSING DEVELOPMENT IN SWEDEN 2005, synthesis report 2005 prepared by France, Ministère chargé du Logement, Swedish National Board of Housing, Building and Planning, Stockholm.

- NIEMINEN (1994), Low-energy residential housing, Technical Research Centre of Finland (VTT), Building Technology, Espoo, Finland; Energy and Buildings, 21 (1994), p. 187-194.
- NUSSBAUMER, et al. (2005), Thermal analysis of a wooden door system with integrated vacuum insulation panels, Energy and Buildings, 37:11, 1107-1113.
- OIB (2007), OIB - Richtlinie 6, Ausgabe April 2007 – OIB-300.6.038/07, Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB).
- PANTELIDES (1988), The consistent initialization of differential-algebraic systems, SIAM Journal of Scientific and Statistical Computing, (1988), S.213-231.
- PAVANI, CALIO, GARAVAGLIA (2003), Numeric Modelling in Building Reliability using both a Probabilistic Approach and a Delay Differential Model, Mathematical and Computer Modelling, 38 (2003), 551-558.
- PERRSON (2007), Implementation of the EPBD in Sweden - Status and Planing, National Board of Housing, Building and Planing.
- PETERSDORFF & BOERMANS (2007), U-values for Better Energy Performance of Buildings, Report established by Ecofys for Eurima, Ecofys GmbH, Köln, Eurima = European Insulation Manufactures Association.
- PETERSDORFF, BOERMANS, JOOSEN, KOLACZ, JAKUBOWSKA, SCHARTE, STOBBE, HARNISCH (2005), Cost-Effective Climate Protection in the EU Building Stock, Report established by ECOFYS for EURIMA, ECOFYS GmbH, Köln.
- PETERSDORFF, BOERMANS, JOOSEN, GRAUS, MIKKERS, STOBBE, HARNISCH (2004), Mitigation of CO₂ - Emissions from the Building Stock, Beyond the EU Directive on the Energy Performance of Buildings, Report established by Ecofys for EURIMA & EuroACE, Ecofys GmbH, Köln.
- PFEIFER & ARLT (2005), Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau, Bauforschungsbericht, Fraunhofer Informationszentrum Raum und Bau (IRB) Verlag, Stuttgart.
- PIB (2000), Energieeinsparpotenziale durch moderne Fenster, im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V., Prüfungsinstitut für Bauelemente GmbH, Pirmasens.
- PIEBALGS (2008), Aktuelle EU-Energiepolitik im Bereich Energieeffizienz und erneuerbare Energiequellen im Hinblick auf den Gebäudesektor, Beitrag des Kommissars für Energie der Europäischen Kommission im Rahmen des Jahrbuchs: Energieeffizienz in Gebäuden - Jahrbuch 2008, (Hrsg. Jürgen Pöschk, Verlag und Medienservice Energie).
- PLAN (2004), Climate Plan 2004 - Let's act together to the challenge of climat change, Republique Francaise, Ministere de L Ecologie et du Developpeet, Paris.

- PLATZER (2000), Bestimmung des solaren Energiegewinns durch Massivwände mit transparenter Wärmedämmung, Richtlinie des Fachverbands Transparente Wärmedämmung e.V., Gundelfingen.
- POEL, BALARAS, CRUCHTEN (2007), Energy performance assessment of existing dwellings, *Energy and Buildings*, 39:4, 393-403.
- POLITIKSZENARIEN (2007), Politikszenarios für den Klimaschutz IV - Szenarios bis 2030, Institut für Energieforschung - Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE), Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energie & Umwelt, Band 6, Jülich 2008, Jülich.
- PRESUTTO (2004), FRAMES - Italy - Final country report. FRAMES - Framework Innovations for Building Renovation; SAVE - project, co-ordinated by E.V.A., the Austrian Energy Agency; M. Presutto, Unit for Sustainable Development - Advisor, Rom.
- RABENSTEIN (2006), Die Klimaabhängigkeit optimaler Wärmedämmung, *Bauphysik*, 28:1, 13-26.
- RAS (2003), Analyse zur Situation an Deutschlands Heizungsärkten, Teil 1 - 3, RAS - das Wirtschaftsjournal für die Haustechnik - Heft 03 - 05 / 2003, Düsseldorf.
- RAS (2005), Analyse zur Situation an Deutschlands Heizungsärkten, RAS - das Wirtschaftsjournal für die Haustechnik - Heft 03 / 2005, Düsseldorf.
- RECKNAGEL & SPRENGER (2005), Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2005/06, Einschließlich Warmwasser- und Klimatechnik. Oldenburg Verlag, München.
- RICHTER (2002), Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern - Kurzbericht, gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung, Fakultät Maschinenwesen, Technische Universität Dresden, Dresden.
- RICHTER & KNABE (1999), Bewertung von ungünstigen anlagentechnischen Energiemaßnahmen im Gebäudebestand, Fraunhofer IRB, Stuttgart.
- RICS (2007), Towards an Energy Efficient European Building Stock - An RISC Status Report on the Implementation of Directive 2002/91 on the Energy Performance (EPBD) in the EU Member States, The Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), UK.
- ROGER (2007), Implementation of the EPBD in France: Status January 2007, Ministry of Employment, Social Cohesion and Housing, France.
- RONNINGER (1999), Zuverlässigkeitsanalyse mit Weibull in Entwicklung und Serie, *Automobiltechnische Zeitschrift - ATZ* (101) 1999, Nr. 12, S. 942-949.

- ROTH (2005), Bundesregierung forciert Gebäudesanierung - CO₂-Gebäudesanierungsprogramm auf 1,5 Milliarden Euro aufgestockt - Energiepass kommt 2006, Roth: Parlamentarische Staatssekretärin der Bundesregierung.
- ROUVEL (2004), Berechnung des instationären thermischen Gebäudeverhaltens, HLH, 04/2004,
- RUDBECK (2002), Service life of building envelope components: making it operational in economical assessment, Construction and Building Materials, 16:2, 83-89
- SAAL & LOOSE (2004), Ermittlung der Wärmeverluste an zweischaligen Dach- und Wandaufbauten. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe (TH); IFBS - Industrieverband für Bausysteme im Stahlleichtbau - Bauphysik 4.05, Dez. 2004, Karlsruhe.
- SAGER (2007), Energieausweise in Deutschland und Europa - Ergebnisse aus dem EU - Projekt IMPACT, DENA - Deutsche Energieagentur, Berlin.
- SANTOS & MATEUS (2008), Implementation of the EPBD in Portugal: Status and Planing - March 2008, ADENE, University of Porto, Porto.
- SCHLOMANN, GRUBER, EICHHAMMER, KLING (ISI), DIEKMANN, ZIESING, RIEKE, WITTKÉ (DIW), HERZOG, BARBOSA, LUTZ, BROESKE (GfK), MERTEN, FALKENBERG, NILL, KALTSCHMITT (Institut für Energetik und Umwelt), GEIGER, KLEEBERGER, ECKL (TUM-IfE) (2004), Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), Projektnummer 17/02, Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, ISI / DIW / GfK / Institut für Energetik und Umwelt / TUM-IfE, Karlsruhe, Berlin, Nürnberg, Leipzig, München.
- SCHWAIGER (2002), Strukturelle und dynamische Modellierung von Gebäudebeständen, (Dissertation), Fakultät für Architektur, Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- SEI (2005), Consultation Document [Draft] - Action Plan for Implementation of the EU Energy Performance of Buildings Directive in Ireland. SEI - Sustainable Energy Ireland, EPBD Working group, Department of the Environment and Local Government, Dublin.
- SIMMLER (2002), Vakuumdämmung - Qualitätssicherung und bauphysikalische Grundlagen, Jahresbericht 2002, Rationelle Energienutzung in Gebäuden, Bundesamt für Energie, Dübendorf (Schweiz).
- SMEDS (2004), Energy Aspects in Swedish Building Legislation of the 20th Century Concerning Dwellings. Division of Energy and Building Design, Lund Institute of Technology, Sweden, Lund.
- SOFRONIS (2007), Implementation of the EPBD in Greece: Status January 2007, CRES, Greece.

- STABU (2000), Definition von Gebäuden, STABU - Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- STATISTICS DENMARK (2001 bis 2005), Statistical Yearbook. Denmark Statistics, Kopenhagen.
- SUNIKKA (2005), The Energy Performance of Buildings Directive (EPBD): improving the energy efficiency of the existing housing stock - Optimising the impact of Article 7 on the energy certificate.
- ENGELUND THOMSEN, WITTCHEN, JENSEN, AGGERHOLM (2006), Applying the EPBD to improve the Energy Performance Requirements to Existing Buildings - ENPER - EXIST - EU - Intelligent Energy, Workpackage 3: Building stock knowledge. SBi - Danish Building Research Institute, Kopenhagen, Denmark.
- THUVANDER (2002), Towards Environmental Informatics for Building Stocks, Chalmers University of Technology, Göteborg, 2002.
- TOMMERUP & SVENDSEN (2006), Energy savings in Danish residential building stock, Energy and Buildings, 38:6, 618-626.
- UBA (1999), Die Entwicklung der thermischen Qualität der österreichischen Gebäude und ihre Beutung für den Umweltschutz, Umweltbundesamt (UBA), Abteilung Allgemeine Ökologie, Wien.
- UN (1997), KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, United Nations (UN), Kyoto.
- VANDROOGENBROECK (2002), Overzicht reglementering, ANRE (Flemish Administration of Energy).
- VERBEECK & HENS (2005), Energy savings in retrofitted dwellings: economically viable?, Energy and Buildings, 37:7, 747-754.
- VDI 2067 (1993), Blatt 2: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, Raumheizung, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- VFF (1999), Grunddaten zum Fenster- und Baumarkt 2/1999, VFF - Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V., Frankfurt.
- VFF (2000), Grunddaten zum Fenster- und Baumarkt 4/2000, VFF - Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V., Frankfurt.
- VFF (2002), Grunddaten zum Fenster- und Baumarkt 04/2002 - Der europäische Fenstermarkt, VFF - Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V., Frankfurt.
- VFF (2003), Marktbericht 2003, VFF - Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V., Frankfurt.
- VON REIBNITZ (1991), Szenario-Technik:: Instrumente für die unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung, Gabler Verlag, Wiesbaden.
- VORLÄNDER, WOFF, HAHN (1998), Bauen am Kronsberg - Heiztechnisches Konzept, Landeshauptstadt Hannover (Herausgeber).

- VRIES & BERENDS (1990), Hausbau in den Niederlanden, Beitrag im Jahrbuch für Hausforschung : Bericht über die Tagung des Arbeitskreises für Hausforschung e.V., Band 39.
- VROM (2002), Energiebesparende maatregelen in de woningvoorraad, Amsterdam.
- WATSON & WILLIAMS (2003), Irish National Survey of Housing Quality. Dublin, The Economic and Social Research Institute.
- WELTIN (2005), Zuverlässigkeit in der Maschinendynamik, Forschungsschwerpunkt Systemtechnik, Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH), Hamburg.
- WINTHER & TVEITO (2002), Einführung in partielle Differentialgleichungen, Ein numerischer Zugang, Springer Verlag, Berlin.
- WITTCHEN (2003), Benchmarking for Existing European Dwellings, Energy Performance Assessment Method for Dwellings (EPA ED), National Observatory of Athens (NOA), Athen.
- WOLFF & JAGNOW (2005), Optimus - Projekt (Optimierung von Heizungssystemen durch Information und Qualifikation zur nachhaltigen Nutzung von Energieeinsparpotenzialen), Schlummernde Energieeinsparpotenziale in der Heizungstechnik. Fachhochschule Braunschweig / Wolfenbüttel, Institut für Heizungs- und Klimatechnik
- WOODS (2007), Implementation of the EPBD in England, Wales, Scotland and Northern Ireland: Status Sep 2007, Faber Manusell, UK.
- ZITZMANN (2006), Simulation dynamisch-thermischen Langzeitverhaltens in Gebäuden mittels CFD, Bauphysik, 28:2, 96-102.
- ZIV (2006), Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks für 2006, Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks - Zentralinnungsverband (ZIV), Sankt Augustin.
- ZÜRCHER & FRANK (1997), Bauphysik, Bau und Energie, Leitfaden für Planung und Praxis, Band 2 Zürich, Stuttgart.

Anhang

Verwendete Ergebnisse des Sanierungsmodells für die Soll – Energieeinsparungen nach den Rahmenbedingungen des Szenarios „Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren“ von 2006 bis 2030 differenziert nach den Ländern, den Gebäudetypen und Bauteilen:

1. EU – 15:

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	7,18	3,66	6,32	3,59	8,32	29,07
2007	7,24	3,72	6,38	3,64	8,38	29,37
2008	7,56	3,82	6,59	3,79	8,63	30,40
2009	8,22	4,24	7,23	4,12	9,29	33,10
2010	8,35	4,31	7,36	4,21	9,39	33,61
2011	8,36	4,35	7,42	4,25	9,41	33,78
2012	9,98	5,33	9,00	5,16	11,46	40,92
2013	9,97	5,37	9,07	5,20	11,50	41,10
2014	9,95	5,41	9,13	5,23	11,55	41,26
2015	9,93	5,44	9,18	5,25	11,60	41,40
2016	9,89	5,47	9,23	5,27	11,66	41,52
2017	9,83	5,50	9,27	5,28	11,72	41,61
2018	9,77	5,53	9,30	5,29	11,78	41,67
2019	9,70	5,55	9,32	5,29	11,84	41,70
2020	9,62	5,57	9,34	5,28	11,91	41,72
2021	10,56	6,11	10,29	5,85	13,33	46,15
2022	10,45	6,12	10,29	5,83	13,42	46,11
2023	10,33	6,13	10,28	5,81	13,51	46,07
2024	10,19	6,14	10,27	5,79	13,60	46,00
2025	10,06	6,15	10,26	5,76	13,68	45,91
2026	9,92	6,16	10,24	5,72	13,76	45,81
2027	9,79	6,16	10,22	5,68	13,82	45,68
2028	9,66	6,16	10,20	5,65	13,86	45,54
2029	9,54	6,16	10,18	5,62	13,89	45,39
2030	9,42	6,14	10,14	5,58	13,89	45,17

Raumwärmeeinsparpotenziale nach Bauteilen für Ein- und Zweifamilienhäuser

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	5,54	2,52	4,70	2,67	5,99	21,41
2007	5,58	2,55	4,73	2,70	6,04	21,60
2008	5,80	2,61	4,86	2,79	6,20	22,26
2009	6,26	2,86	5,29	3,01	6,64	24,05
2010	6,35	2,90	5,36	3,06	6,71	24,38
2011	6,35	2,92	5,39	3,08	6,72	24,48
2012	7,63	3,61	6,58	3,76	8,24	29,82
2013	7,62	3,64	6,62	3,79	8,27	29,94
2014	7,61	3,66	6,66	3,80	8,30	30,04
2015	7,59	3,69	6,70	3,82	8,34	30,13
2016	7,56	3,71	6,73	3,83	8,37	30,21
2017	7,53	3,73	6,76	3,84	8,41	30,27
2018	7,48	3,75	6,78	3,84	8,45	30,31
2019	7,43	3,77	6,80	3,85	8,49	30,34
2020	7,38	3,79	6,81	3,84	8,53	30,36
2021	8,13	4,19	7,55	4,28	9,59	33,74
2022	8,05	4,20	7,56	4,27	9,64	33,72
2023	7,97	4,22	7,56	4,26	9,70	33,70
2024	7,88	4,23	7,56	4,24	9,76	33,67
2025	7,78	4,24	7,56	4,23	9,82	33,63
2026	7,69	4,25	7,56	4,21	9,87	33,57
2027	7,59	4,26	7,55	4,18	9,91	33,50
2028	7,50	4,27	7,55	4,18	9,94	33,43
2029	7,42	4,27	7,54	4,16	9,95	33,35
2030	7,34	4,27	7,53	4,15	9,95	33,23

Raumwärmeeinsparpotenziale nach Bauteilen für Mehrfamilienhäuser

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	1,64	1,15	1,62	0,92	2,33	7,66
2007	1,66	1,17	1,65	0,94	2,34	7,77
2008	1,77	1,21	1,73	1,00	2,43	8,14
2009	1,95	1,39	1,95	1,11	2,65	9,05
2010	2,00	1,41	2,00	1,15	2,68	9,24
2011	2,01	1,43	2,02	1,16	2,68	9,30
2012	2,35	1,72	2,42	1,40	3,22	11,10
2013	2,35	1,73	2,44	1,41	3,23	11,16
2014	2,34	1,74	2,46	1,42	3,25	11,22
2015	2,34	1,75	2,48	1,43	3,27	11,27
2016	2,32	1,76	2,50	1,44	3,29	11,31
2017	2,31	1,77	2,51	1,44	3,31	11,34
2018	2,29	1,78	2,52	1,44	3,33	11,36
2019	2,27	1,78	2,52	1,44	3,35	11,36
2020	2,24	1,79	2,52	1,44	3,38	11,36
2021	2,43	1,92	2,74	1,58	3,75	12,41
2022	2,39	1,92	2,73	1,57	3,78	12,39
2023	2,36	1,92	2,72	1,56	3,81	12,36
2024	2,32	1,91	2,71	1,55	3,84	12,33
2025	2,28	1,91	2,70	1,53	3,87	12,29
2026	2,24	1,91	2,68	1,51	3,89	12,23
2027	2,20	1,90	2,67	1,50	3,91	12,18
2028	2,16	1,89	2,65	1,48	3,93	12,11
2029	2,12	1,89	2,63	1,46	3,94	12,04
2030	2,08	1,87	2,61	1,44	3,94	11,93

Raumwärmeeinsparpotenziale für das Bauteil „Fassade“ und Baualtersklassen

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	2,13	0,49	1,67	2,87	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	7,18
2007	2,12	0,50	1,50	3,08	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	7,24
2008	2,18	0,53	1,36	3,43	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	7,56
2009	2,37	0,59	1,39	3,79	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	8,22
2010	2,38	0,62	1,24	4,01	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	8,35
2011	2,37	0,65	1,10	4,12	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	8,36
2012	2,82	0,82	1,18	4,98	0,18	0,01	0,00	0,00	0,00	9,98
2013	2,80	0,85	1,07	5,02	0,22	0,01	0,00	0,00	0,00	9,97
2014	2,77	0,89	1,00	5,01	0,27	0,01	0,00	0,00	0,00	9,95
2015	2,75	0,92	0,95	4,97	0,32	0,02	0,00	0,00	0,00	9,93
2016	2,73	0,96	0,92	4,88	0,38	0,02	0,00	0,00	0,00	9,89
2017	2,70	0,99	0,92	4,75	0,44	0,03	0,00	0,00	0,00	9,83
2018	2,68	1,02	0,94	4,59	0,51	0,03	0,00	0,00	0,00	9,77
2019	2,66	1,05	0,97	4,39	0,58	0,04	0,01	0,00	0,00	9,70
2020	2,63	1,08	1,01	4,17	0,66	0,05	0,01	0,00	0,00	9,62
2021	2,86	1,24	1,17	4,35	0,85	0,08	0,01	0,00	0,00	10,56
2022	2,84	1,26	1,24	4,06	0,94	0,10	0,01	0,00	0,00	10,45
2023	2,81	1,29	1,32	3,76	1,02	0,12	0,02	0,00	0,00	10,33
2024	2,78	1,31	1,39	3,45	1,09	0,14	0,02	0,00	0,00	10,19
2025	2,76	1,33	1,47	3,15	1,15	0,17	0,03	0,00	0,00	10,06
2026	2,74	1,35	1,55	2,86	1,19	0,20	0,04	0,00	0,00	9,92
2027	2,71	1,36	1,63	2,59	1,21	0,23	0,05	0,00	0,00	9,79
2028	2,69	1,37	1,71	2,35	1,22	0,27	0,06	0,00	0,00	9,66
2029	2,67	1,38	1,79	2,13	1,19	0,31	0,07	0,00	0,00	9,54
2030	2,64	1,38	1,86	1,95	1,15	0,35	0,08	0,00	0,00	9,42

Raumwärmeeinsparpotenziale für das Bauteil „Fenster“ und Baualtersklassen

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,86	0,37	0,47	1,90	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	3,66
2007	0,85	0,39	0,45	1,94	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	3,72
2008	0,86	0,40	0,45	1,99	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82
2009	0,94	0,47	0,52	2,15	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	4,24
2010	0,93	0,48	0,54	2,14	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00	4,31
2011	0,92	0,50	0,57	2,09	0,25	0,01	0,00	0,00	0,00	4,35
2012	1,11	0,62	0,73	2,48	0,37	0,02	0,00	0,00	0,00	5,33
2013	1,10	0,63	0,78	2,39	0,44	0,03	0,00	0,00	0,00	5,37
2014	1,09	0,65	0,83	2,28	0,52	0,04	0,00	0,00	0,00	5,41
2015	1,08	0,66	0,88	2,16	0,61	0,05	0,00	0,00	0,00	5,44
2016	1,07	0,67	0,94	2,03	0,70	0,06	0,01	0,00	0,00	5,47
2017	1,06	0,68	0,99	1,89	0,80	0,08	0,01	0,00	0,00	5,50
2018	1,05	0,68	1,05	1,75	0,89	0,10	0,01	0,00	0,00	5,53
2019	1,05	0,68	1,10	1,60	0,98	0,13	0,01	0,00	0,00	5,55
2020	1,04	0,69	1,15	1,46	1,06	0,16	0,02	0,00	0,00	5,57
2021	1,13	0,75	1,28	1,47	1,23	0,22	0,02	0,00	0,00	6,11
2022	1,12	0,75	1,33	1,33	1,29	0,26	0,03	0,00	0,00	6,12
2023	1,12	0,75	1,37	1,21	1,32	0,32	0,04	0,00	0,00	6,13
2024	1,11	0,74	1,42	1,11	1,33	0,38	0,05	0,00	0,00	6,14
2025	1,11	0,74	1,45	1,04	1,32	0,44	0,06	0,00	0,00	6,15
2026	1,10	0,73	1,48	0,98	1,27	0,51	0,08	0,00	0,00	6,16
2027	1,10	0,72	1,51	0,96	1,21	0,58	0,09	0,00	0,00	6,16
2028	1,09	0,71	1,53	0,95	1,12	0,65	0,11	0,00	0,00	6,16
2029	1,09	0,70	1,54	0,96	1,02	0,72	0,14	0,00	0,00	6,16
2030	1,07	0,68	1,52	0,98	0,92	0,79	0,17	0,00	0,00	6,14

Raumwärmeeinsparpotenziale für das Bauteil „Dach“ und Baualtersklassen

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	1,69	0,44	1,49	2,65	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	6,32
2007	1,68	0,45	1,32	2,86	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	6,38
2008	1,71	0,47	1,20	3,13	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	6,59
2009	1,84	0,54	1,16	3,56	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	7,23
2010	1,84	0,57	1,05	3,74	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	7,36
2011	1,82	0,59	0,95	3,85	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00	7,42
2012	2,19	0,75	1,05	4,71	0,29	0,01	0,00	0,00	0,00	9,00
2013	2,16	0,78	1,00	4,76	0,35	0,02	0,00	0,00	0,00	9,07
2014	2,14	0,81	0,96	4,76	0,43	0,02	0,00	0,00	0,00	9,13
2015	2,11	0,84	0,96	4,72	0,51	0,03	0,00	0,00	0,00	9,18
2016	2,09	0,88	0,97	4,64	0,61	0,04	0,00	0,00	0,00	9,23
2017	2,07	0,91	1,00	4,52	0,71	0,05	0,00	0,00	0,00	9,27
2018	2,04	0,94	1,05	4,37	0,83	0,07	0,01	0,00	0,00	9,30
2019	2,02	0,97	1,10	4,19	0,95	0,08	0,01	0,00	0,00	9,32
2020	2,00	0,99	1,17	3,98	1,08	0,11	0,01	0,00	0,00	9,34
2021	2,18	1,12	1,32	4,19	1,33	0,14	0,02	0,00	0,00	10,29
2022	2,15	1,14	1,40	3,92	1,48	0,18	0,02	0,00	0,00	10,29
2023	2,13	1,17	1,48	3,64	1,63	0,22	0,03	0,00	0,00	10,28
2024	2,11	1,19	1,57	3,35	1,77	0,26	0,03	0,00	0,00	10,27
2025	2,09	1,21	1,65	3,06	1,89	0,31	0,04	0,00	0,00	10,26
2026	2,07	1,22	1,74	2,79	2,00	0,37	0,05	0,00	0,00	10,24
2027	2,05	1,24	1,83	2,52	2,08	0,44	0,07	0,00	0,00	10,22
2028	2,03	1,25	1,91	2,28	2,14	0,51	0,08	0,00	0,00	10,20
2029	2,02	1,26	1,99	2,06	2,16	0,58	0,10	0,00	0,00	10,18
2030	1,99	1,25	2,05	1,87	2,18	0,68	0,12	0,00	0,00	10,14

Raumwärmeeinsparpotenziale für das Bauteil „Keller“ und Baualtersklassen

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	1,04	0,19	0,77	1,58	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	3,59
2007	1,04	0,20	0,65	1,74	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	3,64
2008	1,05	0,22	0,56	1,95	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	3,79
2009	1,13	0,26	0,49	2,22	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	4,12
2010	1,12	0,28	0,41	2,36	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	4,21
2011	1,11	0,30	0,35	2,44	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	4,25
2012	1,33	0,38	0,37	3,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	5,16
2013	1,31	0,41	0,34	3,03	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20
2014	1,29	0,43	0,33	3,04	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	5,23
2015	1,27	0,46	0,33	3,01	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	5,25
2016	1,25	0,48	0,35	2,96	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	5,27
2017	1,23	0,50	0,37	2,88	0,28	0,01	0,00	0,00	0,00	5,28
2018	1,22	0,53	0,41	2,78	0,35	0,01	0,00	0,00	0,00	5,29
2019	1,20	0,55	0,45	2,65	0,43	0,01	0,00	0,00	0,00	5,29
2020	1,18	0,57	0,49	2,50	0,52	0,02	0,00	0,00	0,00	5,28
2021	1,29	0,65	0,58	2,63	0,67	0,02	0,00	0,00	0,00	5,85
2022	1,28	0,67	0,63	2,43	0,79	0,03	0,00	0,00	0,00	5,83
2023	1,26	0,69	0,69	2,22	0,91	0,04	0,00	0,00	0,00	5,81
2024	1,25	0,71	0,75	2,00	1,02	0,05	0,01	0,00	0,00	5,79
2025	1,23	0,73	0,81	1,77	1,14	0,07	0,01	0,00	0,00	5,76
2026	1,22	0,74	0,87	1,55	1,24	0,09	0,01	0,00	0,00	5,72
2027	1,21	0,74	0,94	1,34	1,33	0,11	0,01	0,00	0,00	5,68
2028	1,21	0,76	1,00	1,14	1,39	0,14	0,02	0,00	0,00	5,65
2029	1,20	0,77	1,06	0,97	1,42	0,17	0,02	0,00	0,00	5,62
2030	1,20	0,77	1,13	0,83	1,43	0,21	0,03	0,00	0,00	5,58

Raumwärmeeinsparpotenziale für das Bauteil „Heizung“ und Baualtersklassen

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	2,19	1,40	3,19	4,19	1,45	0,04	0,00	0,00	0,00	12,47
2007	2,17	1,38	3,24	3,90	1,76	0,07	0,01	0,00	0,00	12,53
2008	2,16	1,36	3,27	3,59	2,07	0,10	0,01	0,00	0,00	12,57
2009	2,15	1,33	3,27	3,31	2,37	0,15	0,01	0,00	0,00	12,59
2010	2,13	1,31	3,25	3,07	2,62	0,22	0,02	0,00	0,00	12,61
2011	2,11	1,29	3,20	2,90	2,81	0,31	0,03	0,00	0,00	12,64
2012	2,09	1,27	3,14	2,81	2,91	0,42	0,04	0,00	0,00	12,67
2013	2,06	1,25	3,06	2,82	2,92	0,56	0,05	0,00	0,00	12,72
2014	2,04	1,23	2,97	2,91	2,83	0,73	0,07	0,00	0,00	12,78
2015	2,01	1,22	2,87	3,06	2,66	0,94	0,09	0,00	0,00	12,84
2016	1,98	1,21	2,76	3,26	2,41	1,17	0,12	0,00	0,00	12,91
2017	1,95	1,20	2,66	3,47	2,12	1,42	0,15	0,00	0,00	12,97
2018	1,91	1,20	2,56	3,69	1,81	1,68	0,19	0,00	0,00	13,04
2019	1,88	1,20	2,48	3,89	1,50	1,92	0,24	0,00	0,00	13,11
2020	1,84	1,20	2,40	4,08	1,22	2,15	0,30	0,00	0,00	13,19
2021	1,81	1,21	2,33	4,25	0,98	2,32	0,37	0,00	0,00	13,27
2022	1,77	1,22	2,29	4,39	0,81	2,43	0,46	0,00	0,00	13,35
2023	1,73	1,23	2,25	4,51	0,71	2,46	0,56	0,00	0,00	13,44
2024	1,69	1,24	2,24	4,60	0,67	2,43	0,68	0,00	0,00	13,53
2025	1,65	1,25	2,24	4,65	0,68	2,32	0,82	0,00	0,00	13,62
2026	1,61	1,26	2,26	4,68	0,74	2,16	0,98	0,00	0,00	13,70
2027	1,57	1,28	2,29	4,69	0,82	1,96	1,16	0,00	0,00	13,76
2028	1,53	1,29	2,33	4,66	0,92	1,73	1,35	0,00	0,00	13,80
2029	1,48	1,30	2,38	4,62	1,03	1,49	1,53	0,00	0,00	13,82
2030	1,44	1,30	2,43	4,55	1,14	1,24	1,71	0,00	0,00	13,82

2. Einsparungen nach Ländern

1.1 Österreich

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,19	0,14	0,20	0,11	0,29	0,92
2007	0,21	0,15	0,22	0,12	0,32	1,03
2008	0,21	0,15	0,23	0,13	0,32	1,04
2009	0,22	0,15	0,23	0,13	0,32	1,04
2010	0,22	0,15	0,23	0,13	0,32	1,05
2011	0,22	0,15	0,23	0,13	0,32	1,06
2012	0,28	0,19	0,29	0,16	0,40	1,32
2013	0,28	0,19	0,29	0,16	0,40	1,32
2014	0,28	0,19	0,29	0,16	0,41	1,33
2015	0,28	0,19	0,29	0,16	0,41	1,33
2016	0,28	0,19	0,29	0,16	0,42	1,33
2017	0,28	0,19	0,29	0,15	0,42	1,33
2018	0,27	0,19	0,28	0,15	0,43	1,32
2019	0,27	0,19	0,28	0,15	0,43	1,32
2020	0,26	0,19	0,28	0,15	0,44	1,31
2021	0,28	0,20	0,30	0,16	0,48	1,43
2022	0,27	0,20	0,30	0,16	0,48	1,42
2023	0,26	0,20	0,30	0,16	0,49	1,41
2024	0,25	0,20	0,30	0,15	0,49	1,40
2025	0,25	0,20	0,30	0,15	0,49	1,39
2026	0,24	0,20	0,29	0,15	0,49	1,38
2027	0,23	0,20	0,29	0,15	0,49	1,36
2028	0,22	0,20	0,29	0,15	0,49	1,35
2029	0,21	0,20	0,29	0,15	0,49	1,33
2030	0,20	0,20	0,29	0,14	0,49	1,32

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,18	0,03	0,08	0,34	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64
2007	0,20	0,04	0,07	0,39	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71
2008	0,20	0,04	0,07	0,40	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72
2009	0,20	0,04	0,06	0,41	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73
2010	0,19	0,04	0,06	0,42	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73
2011	0,19	0,04	0,05	0,42	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74
2012	0,24	0,06	0,06	0,53	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92
2013	0,23	0,06	0,06	0,52	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92
2014	0,23	0,06	0,06	0,51	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92
2015	0,23	0,06	0,06	0,50	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92
2016	0,23	0,06	0,06	0,48	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,91
2017	0,22	0,07	0,06	0,46	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,91
2018	0,22	0,07	0,07	0,44	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,90
2019	0,22	0,07	0,07	0,42	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,89
2020	0,21	0,07	0,07	0,39	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,88
2021	0,23	0,08	0,08	0,39	0,14	0,02	0,00	0,00	0,00	0,95
2022	0,23	0,08	0,09	0,36	0,15	0,02	0,00	0,00	0,00	0,94
2023	0,23	0,08	0,09	0,33	0,16	0,03	0,00	0,00	0,00	0,92
2024	0,22	0,08	0,10	0,30	0,17	0,03	0,00	0,00	0,00	0,91
2025	0,22	0,08	0,10	0,27	0,18	0,04	0,01	0,00	0,00	0,90
2026	0,22	0,08	0,10	0,25	0,18	0,05	0,01	0,00	0,00	0,88
2027	0,22	0,08	0,11	0,23	0,18	0,06	0,01	0,00	0,00	0,87
2028	0,21	0,08	0,11	0,21	0,17	0,06	0,01	0,00	0,00	0,86
2029	0,21	0,08	0,11	0,20	0,16	0,07	0,01	0,00	0,00	0,84
2030	0,21	0,08	0,12	0,19	0,15	0,08	0,02	0,00	0,00	0,83

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,08	0,04	0,07	0,17	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43
2007	0,08	0,04	0,08	0,16	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43
2008	0,08	0,03	0,08	0,15	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43
2009	0,08	0,03	0,08	0,14	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,43
2010	0,08	0,03	0,07	0,13	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,43
2011	0,08	0,03	0,07	0,12	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,44
2012	0,08	0,03	0,07	0,12	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00	0,44
2013	0,08	0,03	0,07	0,12	0,12	0,03	0,00	0,00	0,00	0,44
2014	0,08	0,03	0,07	0,12	0,12	0,03	0,00	0,00	0,00	0,45
2015	0,07	0,03	0,06	0,12	0,11	0,04	0,00	0,00	0,00	0,45
2016	0,07	0,03	0,06	0,13	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,46
2017	0,07	0,03	0,06	0,14	0,09	0,07	0,01	0,00	0,00	0,46
2018	0,07	0,03	0,06	0,15	0,08	0,08	0,01	0,00	0,00	0,47
2019	0,07	0,03	0,06	0,16	0,06	0,09	0,01	0,00	0,00	0,47
2020	0,07	0,03	0,05	0,16	0,05	0,10	0,01	0,00	0,00	0,48
2021	0,07	0,03	0,05	0,17	0,04	0,11	0,02	0,00	0,00	0,48
2022	0,06	0,03	0,05	0,18	0,03	0,11	0,02	0,00	0,00	0,49
2023	0,06	0,03	0,05	0,18	0,03	0,11	0,02	0,00	0,00	0,49
2024	0,06	0,03	0,05	0,18	0,03	0,11	0,03	0,00	0,00	0,49
2025	0,06	0,03	0,05	0,19	0,03	0,11	0,03	0,00	0,00	0,49
2026	0,06	0,03	0,05	0,19	0,03	0,10	0,04	0,00	0,00	0,50
2027	0,06	0,03	0,05	0,19	0,03	0,09	0,05	0,00	0,00	0,50
2028	0,05	0,03	0,05	0,18	0,04	0,08	0,06	0,00	0,00	0,49
2029	0,05	0,03	0,05	0,18	0,04	0,07	0,07	0,00	0,00	0,49
2030	0,05	0,03	0,05	0,18	0,05	0,06	0,07	0,00	0,00	0,49

2.2 Belgien

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,23	0,14	0,23	0,12	0,39	1,11
2007	0,23	0,14	0,24	0,13	0,39	1,12
2008	0,23	0,14	0,24	0,13	0,40	1,14
2009	0,23	0,14	0,24	0,13	0,41	1,15
2010	0,23	0,14	0,24	0,13	0,41	1,16
2011	0,23	0,15	0,24	0,13	0,42	1,17
2012	0,30	0,19	0,32	0,17	0,55	1,53
2013	0,30	0,20	0,32	0,17	0,55	1,55
2014	0,30	0,20	0,33	0,18	0,55	1,56
2015	0,30	0,20	0,33	0,18	0,56	1,57
2016	0,30	0,21	0,34	0,18	0,56	1,58
2017	0,30	0,21	0,34	0,18	0,57	1,60
2018	0,30	0,21	0,35	0,18	0,57	1,61
2019	0,29	0,22	0,35	0,19	0,57	1,62
2020	0,29	0,22	0,35	0,19	0,58	1,63
2021	0,35	0,27	0,44	0,23	0,70	1,99
2022	0,35	0,27	0,44	0,24	0,71	2,00
2023	0,34	0,27	0,45	0,24	0,71	2,01
2024	0,34	0,27	0,45	0,24	0,71	2,02
2025	0,33	0,28	0,46	0,25	0,71	2,02
2026	0,32	0,28	0,46	0,25	0,71	2,02
2027	0,32	0,28	0,47	0,25	0,71	2,02
2028	0,31	0,28	0,47	0,25	0,70	2,01
2029	0,31	0,28	0,47	0,25	0,70	2,00
2030	0,30	0,27	0,47	0,25	0,70	1,99

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,19	0,09	0,15	0,29	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73
2007	0,19	0,09	0,13	0,31	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73
2008	0,19	0,09	0,12	0,32	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74
2009	0,18	0,10	0,11	0,33	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74
2010	0,18	0,10	0,10	0,34	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
2011	0,18	0,10	0,09	0,34	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
2012	0,23	0,14	0,12	0,45	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99
2013	0,23	0,15	0,11	0,45	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
2014	0,23	0,15	0,11	0,44	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
2015	0,23	0,16	0,11	0,43	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	1,01
2016	0,22	0,16	0,12	0,42	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	1,02
2017	0,22	0,17	0,12	0,40	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	1,03
2018	0,22	0,17	0,13	0,39	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00	1,04
2019	0,22	0,17	0,13	0,37	0,14	0,02	0,00	0,00	0,00	1,05
2020	0,22	0,18	0,14	0,34	0,15	0,02	0,00	0,00	0,00	1,05
2021	0,26	0,22	0,18	0,39	0,21	0,03	0,00	0,00	0,00	1,29
2022	0,26	0,22	0,19	0,36	0,22	0,04	0,00	0,00	0,00	1,30
2023	0,26	0,23	0,20	0,33	0,24	0,05	0,00	0,00	0,00	1,30
2024	0,26	0,23	0,21	0,30	0,25	0,06	0,00	0,00	0,00	1,31
2025	0,25	0,23	0,22	0,27	0,26	0,07	0,01	0,00	0,00	1,31
2026	0,25	0,23	0,23	0,25	0,26	0,08	0,01	0,00	0,00	1,31
2027	0,25	0,23	0,24	0,23	0,26	0,09	0,01	0,00	0,00	1,31
2028	0,25	0,23	0,25	0,21	0,25	0,10	0,01	0,00	0,00	1,31
2029	0,25	0,23	0,26	0,20	0,24	0,12	0,01	0,00	0,00	1,30
2030	0,25	0,23	0,26	0,19	0,22	0,13	0,01	0,00	0,00	1,30

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,09	0,09	0,15	0,16	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
2007	0,09	0,09	0,15	0,15	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59
2008	0,09	0,09	0,15	0,14	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,60
2009	0,09	0,09	0,15	0,13	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,61
2010	0,08	0,09	0,15	0,12	0,16	0,02	0,00	0,00	0,00	0,62
2011	0,08	0,09	0,15	0,11	0,17	0,02	0,00	0,00	0,00	0,62
2012	0,08	0,09	0,15	0,11	0,17	0,03	0,00	0,00	0,00	0,63
2013	0,08	0,08	0,14	0,11	0,17	0,04	0,00	0,00	0,00	0,64
2014	0,08	0,08	0,14	0,11	0,17	0,05	0,00	0,00	0,00	0,64
2015	0,08	0,08	0,14	0,12	0,16	0,07	0,00	0,00	0,00	0,64
2016	0,08	0,08	0,13	0,12	0,14	0,08	0,00	0,00	0,00	0,65
2017	0,08	0,08	0,13	0,13	0,13	0,10	0,01	0,00	0,00	0,65
2018	0,08	0,08	0,12	0,14	0,11	0,12	0,01	0,00	0,00	0,66
2019	0,07	0,08	0,12	0,15	0,09	0,14	0,01	0,00	0,00	0,66
2020	0,07	0,08	0,11	0,16	0,07	0,15	0,01	0,00	0,00	0,66
2021	0,07	0,08	0,11	0,16	0,06	0,17	0,01	0,00	0,00	0,67
2022	0,07	0,08	0,11	0,17	0,05	0,17	0,02	0,00	0,00	0,67
2023	0,07	0,08	0,11	0,17	0,04	0,18	0,02	0,00	0,00	0,67
2024	0,07	0,08	0,11	0,18	0,04	0,17	0,03	0,00	0,00	0,67
2025	0,07	0,08	0,11	0,18	0,04	0,17	0,03	0,00	0,00	0,68
2026	0,06	0,09	0,11	0,18	0,04	0,16	0,04	0,00	0,00	0,67
2027	0,06	0,09	0,11	0,18	0,05	0,14	0,04	0,00	0,00	0,67
2028	0,06	0,09	0,11	0,18	0,05	0,12	0,05	0,00	0,00	0,67
2029	0,06	0,09	0,11	0,18	0,06	0,11	0,06	0,00	0,00	0,66
2030	0,06	0,09	0,11	0,18	0,07	0,09	0,07	0,00	0,00	0,66

2.3 Dänemark

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,12	0,04	0,13	0,09	0,01	0,38
2007	0,12	0,04	0,13	0,09	0,01	0,39
2008	0,12	0,04	0,13	0,09	0,01	0,40
2009	0,13	0,04	0,14	0,09	0,01	0,40
2010	0,13	0,04	0,14	0,09	0,01	0,41
2011	0,13	0,04	0,14	0,09	0,01	0,41
2012	0,16	0,05	0,17	0,11	0,01	0,50
2013	0,16	0,05	0,17	0,11	0,01	0,50
2014	0,16	0,05	0,16	0,11	0,01	0,50
2015	0,16	0,05	0,16	0,11	0,01	0,50
2016	0,16	0,05	0,16	0,11	0,01	0,49
2017	0,16	0,05	0,16	0,11	0,01	0,49
2018	0,16	0,05	0,16	0,11	0,01	0,49
2019	0,16	0,05	0,16	0,10	0,01	0,48
2020	0,15	0,05	0,16	0,10	0,01	0,48
2021	0,17	0,06	0,18	0,11	0,01	0,53
2022	0,17	0,06	0,17	0,11	0,01	0,52
2023	0,16	0,06	0,17	0,11	0,01	0,51
2024	0,16	0,06	0,17	0,11	0,01	0,50
2025	0,15	0,05	0,17	0,11	0,01	0,49
2026	0,15	0,05	0,16	0,11	0,01	0,48
2027	0,14	0,05	0,16	0,10	0,01	0,47
2028	0,14	0,05	0,16	0,10	0,01	0,46
2029	0,13	0,05	0,16	0,10	0,01	0,45
2030	0,13	0,05	0,16	0,10	0,01	0,44

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,11	0,03	0,04	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38
2007	0,11	0,03	0,04	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38
2008	0,11	0,03	0,03	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39
2009	0,11	0,03	0,03	0,22	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
2010	0,11	0,03	0,03	0,23	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
2011	0,11	0,03	0,03	0,23	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
2012	0,13	0,04	0,03	0,28	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49
2013	0,13	0,04	0,03	0,28	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49
2014	0,12	0,04	0,03	0,27	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49
2015	0,12	0,04	0,03	0,27	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49
2016	0,12	0,05	0,03	0,26	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48
2017	0,12	0,05	0,03	0,25	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48
2018	0,12	0,05	0,03	0,24	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48
2019	0,12	0,05	0,03	0,23	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47
2020	0,12	0,05	0,03	0,21	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46
2021	0,13	0,06	0,04	0,22	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52
2022	0,13	0,06	0,04	0,21	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51
2023	0,13	0,06	0,05	0,19	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,50
2024	0,13	0,06	0,05	0,17	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,49
2025	0,13	0,06	0,05	0,16	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,48
2026	0,13	0,06	0,05	0,14	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,47
2027	0,12	0,06	0,06	0,13	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,46
2028	0,12	0,06	0,06	0,12	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,45
2029	0,12	0,06	0,06	0,11	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,44
2030	0,12	0,06	0,06	0,10	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,43

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2007	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2008	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2009	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2010	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2011	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2012	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2013	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2014	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2015	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2016	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2017	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2018	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2019	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2020	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2021	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2022	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2023	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2024	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2025	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2026	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2027	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2028	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2029	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2030	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01

2.4 Finnland

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,07	0,05	0,10	0,06	0,05	0,34
2007	0,08	0,05	0,10	0,06	0,06	0,34
2008	0,08	0,05	0,10	0,06	0,06	0,35
2009	0,08	0,06	0,10	0,06	0,06	0,35
2010	0,08	0,06	0,10	0,06	0,06	0,36
2011	0,08	0,06	0,10	0,06	0,06	0,36
2012	0,09	0,06	0,12	0,07	0,06	0,40
2013	0,09	0,06	0,12	0,07	0,07	0,41
2014	0,09	0,07	0,12	0,07	0,07	0,41
2015	0,09	0,07	0,12	0,07	0,07	0,42
2016	0,09	0,07	0,12	0,07	0,07	0,42
2017	0,09	0,07	0,12	0,07	0,07	0,42
2018	0,09	0,07	0,12	0,07	0,07	0,42
2019	0,09	0,07	0,12	0,07	0,07	0,42
2020	0,08	0,07	0,12	0,08	0,07	0,42
2021	0,09	0,08	0,13	0,08	0,07	0,46
2022	0,09	0,08	0,13	0,08	0,08	0,46
2023	0,08	0,08	0,13	0,08	0,08	0,46
2024	0,08	0,08	0,13	0,08	0,08	0,45
2025	0,08	0,08	0,13	0,08	0,08	0,45
2026	0,07	0,08	0,13	0,08	0,08	0,45
2027	0,07	0,08	0,13	0,08	0,08	0,45
2028	0,07	0,08	0,13	0,08	0,08	0,44
2029	0,06	0,08	0,13	0,08	0,08	0,44
2030	0,06	0,08	0,13	0,08	0,08	0,43

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,01	0,01	0,06	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28
2007	0,01	0,01	0,05	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
2008	0,01	0,01	0,05	0,21	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
2009	0,01	0,02	0,04	0,22	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
2010	0,01	0,02	0,04	0,22	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
2011	0,01	0,02	0,04	0,23	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31
2012	0,01	0,02	0,04	0,25	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34
2013	0,01	0,02	0,04	0,25	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34
2014	0,01	0,02	0,04	0,24	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35
2015	0,01	0,02	0,04	0,24	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35
2016	0,01	0,02	0,04	0,23	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35
2017	0,01	0,02	0,04	0,22	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35
2018	0,01	0,02	0,04	0,21	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35
2019	0,01	0,02	0,05	0,20	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,35
2020	0,01	0,02	0,05	0,19	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,35
2021	0,01	0,03	0,06	0,19	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,38
2022	0,01	0,03	0,06	0,17	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,38
2023	0,01	0,03	0,06	0,16	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,38
2024	0,01	0,03	0,07	0,15	0,11	0,02	0,00	0,00	0,00	0,38
2025	0,01	0,03	0,07	0,13	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00	0,37
2026	0,01	0,03	0,07	0,12	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00	0,37
2027	0,01	0,03	0,07	0,11	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00	0,37
2028	0,01	0,03	0,08	0,10	0,12	0,03	0,00	0,00	0,00	0,36
2029	0,01	0,03	0,08	0,09	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,36
2030	0,01	0,03	0,08	0,09	0,10	0,03	0,01	0,00	0,00	0,35

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,00	0,01	0,02	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2007	0,00	0,01	0,02	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2008	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2009	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
2010	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
2011	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
2012	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
2013	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
2014	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09
2015	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09
2016	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09
2017	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09
2018	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09
2019	0,00	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,09
2020	0,00	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,09
2021	0,00	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,09
2022	0,00	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,10
2023	0,00	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,10
2024	0,00	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,10
2025	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,10
2026	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,10
2027	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,10
2028	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,10
2029	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,10
2030	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,10

2.5 Frankreich

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	1,25	0,50	1,10	0,64	1,87	5,36
2007	1,26	0,50	1,11	0,64	1,89	5,41
2008	1,27	0,51	1,12	0,65	1,90	5,45
2009	1,28	0,51	1,13	0,66	1,91	5,49
2010	1,29	0,52	1,14	0,66	1,92	5,53
2011	1,30	0,52	1,14	0,67	1,93	5,56
2012	1,70	0,68	1,50	0,87	2,52	7,27
2013	1,71	0,68	1,51	0,88	2,54	7,31
2014	1,71	0,68	1,52	0,88	2,55	7,35
2015	1,72	0,69	1,52	0,88	2,57	7,38
2016	1,72	0,69	1,53	0,89	2,59	7,41
2017	1,73	0,69	1,53	0,89	2,60	7,44
2018	1,73	0,69	1,53	0,89	2,62	7,46
2019	1,73	0,70	1,54	0,89	2,64	7,48
2020	1,73	0,70	1,54	0,88	2,65	7,51
2021	2,01	0,81	1,79	1,03	3,10	8,74
2022	2,02	0,81	1,79	1,02	3,12	8,76
2023	2,02	0,82	1,79	1,02	3,14	8,78
2024	2,02	0,82	1,79	1,02	3,16	8,80
2025	2,02	0,82	1,79	1,02	3,17	8,81
2026	2,02	0,83	1,78	1,01	3,18	8,82
2027	2,02	0,83	1,78	1,01	3,19	8,83
2028	2,02	0,83	1,78	1,01	3,19	8,83
2029	2,02	0,83	1,78	1,00	3,18	8,82
2030	2,02	0,84	1,78	1,00	3,17	8,81

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	1,23	0,23	0,66	1,34	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	3,49
2007	1,22	0,23	0,59	1,44	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	3,52
2008	1,21	0,24	0,51	1,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	3,55
2009	1,20	0,25	0,45	1,62	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	3,58
2010	1,19	0,26	0,39	1,68	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	3,61
2011	1,18	0,28	0,35	1,73	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	3,63
2012	1,51	0,37	0,41	2,30	0,15	0,01	0,00	0,00	0,00	4,75
2013	1,50	0,39	0,38	2,32	0,18	0,01	0,00	0,00	0,00	4,77
2014	1,48	0,41	0,36	2,31	0,22	0,01	0,00	0,00	0,00	4,79
2015	1,46	0,43	0,35	2,29	0,27	0,02	0,00	0,00	0,00	4,81
2016	1,44	0,44	0,35	2,24	0,32	0,02	0,00	0,00	0,00	4,82
2017	1,43	0,46	0,36	2,18	0,37	0,03	0,00	0,00	0,00	4,83
2018	1,41	0,47	0,38	2,10	0,44	0,04	0,00	0,00	0,00	4,84
2019	1,39	0,49	0,40	2,01	0,50	0,05	0,00	0,00	0,00	4,85
2020	1,38	0,50	0,42	1,91	0,58	0,06	0,01	0,00	0,00	4,85
2021	1,58	0,60	0,52	2,08	0,76	0,09	0,01	0,00	0,00	5,64
2022	1,56	0,61	0,56	1,94	0,85	0,11	0,01	0,00	0,00	5,64
2023	1,54	0,63	0,59	1,79	0,94	0,14	0,02	0,00	0,00	5,64
2024	1,52	0,64	0,63	1,64	1,03	0,17	0,02	0,00	0,00	5,64
2025	1,51	0,65	0,66	1,49	1,11	0,20	0,03	0,00	0,00	5,64
2026	1,49	0,66	0,70	1,34	1,17	0,24	0,03	0,00	0,00	5,64
2027	1,48	0,66	0,74	1,21	1,23	0,28	0,04	0,00	0,00	5,64
2028	1,47	0,67	0,77	1,08	1,27	0,33	0,05	0,00	0,00	5,64
2029	1,45	0,67	0,81	0,97	1,29	0,38	0,06	0,00	0,00	5,64
2030	1,44	0,68	0,84	0,88	1,29	0,44	0,07	0,00	0,00	5,64

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,65	0,32	0,62	0,86	0,34	0,01	0,00	0,00	0,00	2,81
2007	0,65	0,32	0,63	0,80	0,41	0,02	0,00	0,00	0,00	2,83
2008	0,64	0,31	0,64	0,74	0,49	0,03	0,00	0,00	0,00	2,85
2009	0,64	0,31	0,64	0,68	0,56	0,04	0,00	0,00	0,00	2,87
2010	0,63	0,30	0,63	0,63	0,62	0,06	0,00	0,00	0,00	2,88
2011	0,63	0,30	0,63	0,60	0,66	0,08	0,01	0,00	0,00	2,90
2012	0,62	0,29	0,61	0,58	0,69	0,11	0,01	0,00	0,00	2,91
2013	0,62	0,29	0,60	0,58	0,69	0,14	0,01	0,00	0,00	2,93
2014	0,61	0,28	0,58	0,60	0,67	0,19	0,02	0,00	0,00	2,95
2015	0,60	0,28	0,56	0,63	0,62	0,24	0,02	0,00	0,00	2,96
2016	0,59	0,28	0,54	0,67	0,57	0,30	0,03	0,00	0,00	2,98
2017	0,58	0,28	0,52	0,72	0,50	0,37	0,03	0,00	0,00	3,00
2018	0,57	0,28	0,50	0,76	0,43	0,44	0,04	0,00	0,00	3,02
2019	0,56	0,28	0,48	0,81	0,35	0,50	0,06	0,00	0,00	3,04
2020	0,55	0,28	0,47	0,85	0,29	0,56	0,07	0,00	0,00	3,06
2021	0,54	0,28	0,46	0,88	0,23	0,60	0,09	0,00	0,00	3,08
2022	0,53	0,28	0,45	0,91	0,19	0,63	0,10	0,00	0,00	3,10
2023	0,52	0,28	0,44	0,94	0,17	0,64	0,13	0,00	0,00	3,12
2024	0,51	0,29	0,44	0,96	0,16	0,63	0,16	0,00	0,00	3,14
2025	0,50	0,29	0,44	0,97	0,16	0,61	0,19	0,00	0,00	3,15
2026	0,49	0,29	0,44	0,97	0,17	0,56	0,22	0,00	0,00	3,16
2027	0,47	0,30	0,45	0,98	0,19	0,51	0,27	0,00	0,00	3,17
2028	0,46	0,30	0,46	0,97	0,22	0,45	0,31	0,00	0,00	3,17
2029	0,45	0,30	0,47	0,96	0,24	0,39	0,35	0,00	0,00	3,16
2030	0,44	0,30	0,48	0,95	0,27	0,33	0,39	0,00	0,00	3,15

2.6 Deutschland

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	2,13	1,23	1,99	0,95	2,10	8,40
2007	2,10	1,24	1,97	0,94	2,12	8,38
2008	2,08	1,26	1,96	0,93	2,14	8,37
2009	2,66	1,66	2,54	1,21	2,80	10,88
2010	2,63	1,69	2,55	1,21	2,82	10,89
2011	2,60	1,71	2,55	1,21	2,83	10,91
2012	2,99	2,02	2,98	1,42	3,29	12,69
2013	2,96	2,05	3,00	1,43	3,30	12,73
2014	2,93	2,08	3,02	1,44	3,30	12,77
2015	2,90	2,11	3,05	1,45	3,30	12,81
2016	2,88	2,14	3,08	1,46	3,31	12,86
2017	2,85	2,16	3,11	1,47	3,31	12,91
2018	2,83	2,19	3,14	1,49	3,31	12,96
2019	2,81	2,22	3,17	1,50	3,32	13,01
2020	2,78	2,24	3,20	1,51	3,33	13,06
2021	2,75	2,26	3,23	1,52	3,34	13,10
2022	2,72	2,28	3,25	1,53	3,35	13,14
2023	2,69	2,30	3,28	1,54	3,36	13,18
2024	2,66	2,32	3,31	1,55	3,37	13,21
2025	2,62	2,33	3,34	1,56	3,38	13,23
2026	2,58	2,34	3,36	1,57	3,39	13,25
2027	2,54	2,35	3,39	1,58	3,40	13,26
2028	2,50	2,35	3,41	1,59	3,41	13,26
2029	2,46	2,35	3,43	1,60	3,41	13,25
2030	2,41	2,33	3,43	1,60	3,41	13,18

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	1,81	0,48	1,73	2,23	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	6,30
2007	1,80	0,49	1,56	2,35	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	6,26
2008	1,78	0,51	1,40	2,44	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	6,23
2009	2,30	0,69	1,66	3,28	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	8,08
2010	2,29	0,72	1,54	3,35	0,18	0,01	0,00	0,00	0,00	8,07
2011	2,27	0,75	1,45	3,39	0,22	0,01	0,00	0,00	0,00	8,08
2012	2,61	0,90	1,61	3,94	0,31	0,02	0,00	0,00	0,00	9,40
2013	2,59	0,94	1,58	3,92	0,38	0,02	0,00	0,00	0,00	9,43
2014	2,57	0,97	1,57	3,87	0,45	0,03	0,00	0,00	0,00	9,47
2015	2,55	1,00	1,60	3,79	0,53	0,04	0,00	0,00	0,00	9,51
2016	2,53	1,03	1,64	3,68	0,62	0,05	0,00	0,00	0,00	9,55
2017	2,51	1,06	1,70	3,54	0,72	0,07	0,00	0,00	0,00	9,60
2018	2,48	1,09	1,78	3,38	0,82	0,08	0,01	0,00	0,00	9,65
2019	2,46	1,11	1,87	3,20	0,93	0,11	0,01	0,00	0,00	9,69
2020	2,44	1,13	1,97	3,01	1,03	0,13	0,01	0,00	0,00	9,73
2021	2,43	1,15	2,08	2,80	1,13	0,16	0,01	0,00	0,00	9,77
2022	2,41	1,17	2,19	2,59	1,21	0,20	0,02	0,00	0,00	9,80
2023	2,39	1,19	2,31	2,38	1,29	0,24	0,02	0,00	0,00	9,82
2024	2,38	1,20	2,42	2,18	1,34	0,29	0,03	0,00	0,00	9,84
2025	2,36	1,21	2,54	1,99	1,37	0,34	0,04	0,00	0,00	9,85
2026	2,35	1,21	2,65	1,82	1,38	0,39	0,05	0,00	0,00	9,85
2027	2,34	1,22	2,76	1,67	1,36	0,45	0,06	0,00	0,00	9,85
2028	2,32	1,22	2,86	1,55	1,32	0,51	0,07	0,00	0,00	9,85
2029	2,31	1,22	2,95	1,45	1,25	0,57	0,08	0,00	0,00	9,84
2030	2,27	1,20	2,99	1,36	1,19	0,65	0,10	0,00	0,00	9,77

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,54	0,33	1,16	0,78	0,33	0,01	0,00	0,00	0,00	3,15
2007	0,54	0,33	1,18	0,73	0,39	0,02	0,00	0,00	0,00	3,19
2008	0,54	0,32	1,19	0,67	0,47	0,03	0,00	0,00	0,00	3,21
2009	0,53	0,32	1,19	0,62	0,53	0,04	0,00	0,00	0,00	3,23
2010	0,53	0,31	1,18	0,58	0,59	0,06	0,00	0,00	0,00	3,25
2011	0,53	0,31	1,17	0,54	0,63	0,08	0,00	0,00	0,00	3,26
2012	0,52	0,30	1,14	0,53	0,66	0,11	0,01	0,00	0,00	3,27
2013	0,51	0,30	1,12	0,53	0,66	0,15	0,01	0,00	0,00	3,28
2014	0,51	0,30	1,08	0,55	0,64	0,19	0,01	0,00	0,00	3,28
2015	0,50	0,29	1,05	0,58	0,60	0,24	0,02	0,00	0,00	3,28
2016	0,50	0,29	1,01	0,62	0,55	0,30	0,02	0,00	0,00	3,29
2017	0,49	0,29	0,97	0,66	0,48	0,37	0,03	0,00	0,00	3,29
2018	0,48	0,29	0,94	0,70	0,41	0,44	0,04	0,00	0,00	3,29
2019	0,47	0,29	0,91	0,74	0,34	0,50	0,05	0,00	0,00	3,30
2020	0,46	0,29	0,88	0,78	0,28	0,56	0,06	0,00	0,00	3,31
2021	0,45	0,29	0,86	0,81	0,22	0,60	0,07	0,00	0,00	3,31
2022	0,44	0,29	0,84	0,84	0,18	0,63	0,09	0,00	0,00	3,32
2023	0,43	0,30	0,83	0,86	0,16	0,64	0,11	0,00	0,00	3,34
2024	0,43	0,30	0,82	0,88	0,15	0,63	0,13	0,00	0,00	3,35
2025	0,42	0,30	0,83	0,90	0,16	0,61	0,16	0,00	0,00	3,36
2026	0,41	0,31	0,83	0,90	0,17	0,57	0,19	0,00	0,00	3,37
2027	0,40	0,31	0,84	0,91	0,19	0,51	0,22	0,00	0,00	3,38
2028	0,39	0,31	0,86	0,90	0,21	0,45	0,26	0,00	0,00	3,38
2029	0,38	0,31	0,88	0,89	0,24	0,39	0,30	0,00	0,00	3,39
2030	0,37	0,32	0,90	0,88	0,26	0,33	0,33	0,00	0,00	3,38

2.7 Griechenland

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,10	0,08	0,11	0,08	0,24	0,62
2007	0,11	0,09	0,12	0,08	0,25	0,64
2008	0,11	0,09	0,12	0,09	0,25	0,66
2009	0,11	0,09	0,13	0,09	0,25	0,67
2010	0,11	0,09	0,13	0,10	0,25	0,69
2011	0,12	0,09	0,14	0,10	0,25	0,70
2012	0,15	0,12	0,18	0,14	0,33	0,93
2013	0,15	0,12	0,19	0,14	0,33	0,94
2014	0,15	0,12	0,19	0,14	0,34	0,95
2015	0,15	0,12	0,20	0,14	0,34	0,96
2016	0,15	0,12	0,20	0,14	0,34	0,96
2017	0,15	0,12	0,20	0,14	0,34	0,97
2018	0,15	0,12	0,20	0,14	0,35	0,97
2019	0,15	0,12	0,20	0,14	0,35	0,97
2020	0,15	0,12	0,20	0,14	0,35	0,97
2021	0,17	0,14	0,23	0,17	0,41	1,12
2022	0,17	0,14	0,23	0,17	0,41	1,12
2023	0,17	0,14	0,23	0,16	0,41	1,12
2024	0,17	0,14	0,23	0,16	0,42	1,12
2025	0,17	0,14	0,23	0,16	0,42	1,11
2026	0,16	0,14	0,23	0,16	0,42	1,11
2027	0,16	0,14	0,22	0,16	0,42	1,11
2028	0,16	0,14	0,22	0,16	0,43	1,10
2029	0,16	0,13	0,22	0,16	0,43	1,09
2030	0,15	0,13	0,22	0,15	0,43	1,08

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,01	0,02	0,07	0,28	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38
2007	0,01	0,02	0,06	0,30	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
2008	0,01	0,02	0,05	0,32	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41
2009	0,01	0,02	0,04	0,34	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43
2010	0,01	0,02	0,04	0,35	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44
2011	0,01	0,02	0,03	0,37	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45
2012	0,01	0,03	0,04	0,48	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
2013	0,01	0,03	0,04	0,49	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61
2014	0,01	0,03	0,03	0,49	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61
2015	0,01	0,03	0,03	0,48	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62
2016	0,01	0,04	0,03	0,47	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62
2017	0,01	0,04	0,03	0,46	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62
2018	0,01	0,04	0,04	0,44	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62
2019	0,01	0,04	0,04	0,42	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,62
2020	0,01	0,04	0,04	0,40	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,62
2021	0,01	0,05	0,05	0,44	0,15	0,01	0,00	0,00	0,00	0,72
2022	0,01	0,05	0,05	0,41	0,17	0,01	0,00	0,00	0,00	0,71
2023	0,01	0,05	0,06	0,38	0,19	0,02	0,00	0,00	0,00	0,71
2024	0,01	0,05	0,06	0,35	0,21	0,02	0,00	0,00	0,00	0,70
2025	0,01	0,05	0,06	0,32	0,22	0,02	0,00	0,00	0,00	0,69
2026	0,01	0,05	0,07	0,28	0,24	0,03	0,00	0,00	0,00	0,69
2027	0,01	0,05	0,07	0,26	0,25	0,04	0,00	0,00	0,00	0,68
2028	0,01	0,06	0,07	0,23	0,26	0,04	0,00	0,00	0,00	0,67
2029	0,01	0,06	0,08	0,20	0,26	0,05	0,01	0,00	0,00	0,67
2030	0,01	0,06	0,08	0,18	0,26	0,06	0,01	0,00	0,00	0,66

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,01	0,03	0,07	0,19	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36
2007	0,01	0,03	0,07	0,18	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37
2008	0,01	0,03	0,07	0,16	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37
2009	0,01	0,03	0,07	0,15	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,37
2010	0,01	0,03	0,07	0,14	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,38
2011	0,01	0,03	0,07	0,13	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,38
2012	0,01	0,03	0,06	0,13	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,38
2013	0,01	0,03	0,06	0,13	0,14	0,02	0,00	0,00	0,00	0,39
2014	0,00	0,03	0,06	0,13	0,14	0,03	0,00	0,00	0,00	0,39
2015	0,00	0,02	0,06	0,14	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	0,39
2016	0,00	0,02	0,06	0,15	0,12	0,04	0,00	0,00	0,00	0,40
2017	0,00	0,02	0,05	0,16	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,40
2018	0,00	0,02	0,05	0,17	0,09	0,06	0,00	0,00	0,00	0,40
2019	0,00	0,02	0,05	0,18	0,07	0,07	0,01	0,00	0,00	0,40
2020	0,00	0,02	0,05	0,19	0,06	0,07	0,01	0,00	0,00	0,40
2021	0,00	0,02	0,05	0,19	0,05	0,08	0,01	0,00	0,00	0,41
2022	0,00	0,02	0,05	0,20	0,04	0,08	0,01	0,00	0,00	0,41
2023	0,00	0,02	0,05	0,20	0,03	0,08	0,01	0,00	0,00	0,41
2024	0,00	0,02	0,04	0,21	0,03	0,08	0,02	0,00	0,00	0,41
2025	0,00	0,03	0,04	0,21	0,03	0,08	0,02	0,00	0,00	0,42
2026	0,00	0,03	0,05	0,21	0,04	0,07	0,02	0,00	0,00	0,42
2027	0,00	0,03	0,05	0,21	0,04	0,07	0,03	0,00	0,00	0,42
2028	0,00	0,03	0,05	0,21	0,05	0,06	0,03	0,00	0,00	0,42
2029	0,00	0,03	0,05	0,21	0,05	0,05	0,04	0,00	0,00	0,42
2030	0,00	0,03	0,05	0,21	0,06	0,04	0,04	0,00	0,00	0,42

2.8 Irland

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,10	0,03	0,05	0,05	0,10	0,34
2007	0,10	0,03	0,05	0,05	0,10	0,34
2008	0,10	0,03	0,05	0,05	0,10	0,34
2009	0,10	0,03	0,05	0,05	0,10	0,34
2010	0,10	0,03	0,05	0,05	0,10	0,34
2011	0,10	0,03	0,05	0,05	0,10	0,34
2012	0,11	0,03	0,06	0,05	0,11	0,38
2013	0,11	0,03	0,06	0,05	0,11	0,38
2014	0,11	0,04	0,06	0,05	0,12	0,38
2015	0,11	0,04	0,06	0,05	0,12	0,38
2016	0,11	0,04	0,06	0,05	0,12	0,38
2017	0,11	0,04	0,06	0,05	0,12	0,38
2018	0,10	0,04	0,06	0,05	0,12	0,38
2019	0,10	0,04	0,06	0,05	0,13	0,38
2020	0,10	0,04	0,06	0,05	0,13	0,38
2021	0,10	0,04	0,06	0,06	0,14	0,41
2022	0,10	0,04	0,07	0,06	0,14	0,40
2023	0,10	0,04	0,07	0,06	0,14	0,40
2024	0,09	0,04	0,07	0,06	0,14	0,40
2025	0,09	0,04	0,07	0,06	0,14	0,40
2026	0,08	0,04	0,07	0,06	0,14	0,39
2027	0,08	0,04	0,07	0,06	0,14	0,39
2028	0,07	0,04	0,07	0,06	0,14	0,38
2029	0,07	0,04	0,07	0,06	0,14	0,38
2030	0,07	0,04	0,07	0,06	0,14	0,38

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,06	0,02	0,04	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
2007	0,06	0,02	0,04	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
2008	0,06	0,02	0,03	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
2009	0,06	0,02	0,03	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
2010	0,06	0,02	0,02	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
2011	0,06	0,02	0,02	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
2012	0,06	0,02	0,02	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
2013	0,06	0,03	0,02	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
2014	0,06	0,03	0,02	0,14	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
2015	0,06	0,03	0,02	0,14	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
2016	0,06	0,03	0,02	0,13	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
2017	0,05	0,03	0,02	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
2018	0,05	0,03	0,02	0,12	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
2019	0,05	0,03	0,02	0,11	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,25
2020	0,05	0,03	0,02	0,10	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,25
2021	0,05	0,03	0,02	0,10	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,27
2022	0,05	0,03	0,02	0,09	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,26
2023	0,05	0,03	0,03	0,09	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,26
2024	0,05	0,03	0,03	0,08	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,26
2025	0,05	0,03	0,03	0,07	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,25
2026	0,05	0,03	0,03	0,06	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,25
2027	0,04	0,03	0,03	0,06	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,25
2028	0,04	0,03	0,03	0,05	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,25
2029	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04	0,01	0,00	0,00	0,24
2030	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04	0,01	0,00	0,00	0,24

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,02	0,02	0,03	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
2007	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
2008	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
2009	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15
2010	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15
2011	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15
2012	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15
2013	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,16
2014	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,16
2015	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,16
2016	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,16
2017	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,01	0,00	0,00	0,17
2018	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,05	0,01	0,00	0,00	0,17
2019	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,06	0,01	0,00	0,00	0,17
2020	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,06	0,01	0,00	0,00	0,17
2021	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,07	0,01	0,00	0,00	0,18
2022	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,07	0,02	0,00	0,00	0,18
2023	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,07	0,02	0,00	0,00	0,18
2024	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,07	0,02	0,00	0,00	0,18
2025	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,07	0,03	0,00	0,00	0,18
2026	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,06	0,03	0,00	0,00	0,18
2027	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,06	0,04	0,00	0,00	0,18
2028	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,05	0,04	0,00	0,00	0,18
2029	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,04	0,05	0,00	0,00	0,17
2030	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03	0,06	0,00	0,00	0,17

2.9 Italien

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	1,34	0,28	0,77	0,52	1,15	4,07
2007	1,37	0,29	0,79	0,54	1,14	4,12
2008	1,68	0,35	0,97	0,67	1,34	5,00
2009	1,70	0,35	0,99	0,69	1,32	5,05
2010	1,83	0,38	1,08	0,75	1,38	5,42
2011	1,84	0,38	1,10	0,77	1,36	5,46
2012	1,95	0,40	1,18	0,83	1,42	5,78
2013	1,95	0,40	1,19	0,84	1,42	5,79
2014	1,94	0,39	1,21	0,85	1,41	5,80
2015	1,93	0,39	1,21	0,85	1,41	5,80
2016	1,92	0,39	1,21	0,85	1,41	5,78
2017	1,90	0,38	1,21	0,85	1,41	5,75
2018	1,87	0,38	1,21	0,84	1,42	5,72
2019	1,85	0,37	1,20	0,84	1,42	5,67
2020	1,82	0,36	1,19	0,83	1,42	5,61
2021	2,05	0,41	1,35	0,94	1,63	6,38
2022	2,01	0,40	1,33	0,92	1,64	6,30
2023	1,97	0,39	1,31	0,90	1,65	6,22
2024	1,94	0,38	1,29	0,88	1,66	6,14
2025	1,90	0,37	1,26	0,86	1,67	6,06
2026	1,86	0,37	1,24	0,84	1,67	5,98
2027	1,83	0,36	1,21	0,82	1,68	5,90
2028	1,80	0,36	1,19	0,79	1,69	5,83
2029	1,78	0,35	1,16	0,77	1,69	5,75
2030	1,76	0,35	1,14	0,75	1,69	5,68

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,72	0,13	0,47	1,58	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	2,92
2007	0,72	0,13	0,41	1,70	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	2,99
2008	0,85	0,16	0,43	2,17	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	3,66
2009	0,85	0,17	0,38	2,29	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	3,73
2010	0,89	0,19	0,35	2,54	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	4,04
2011	0,89	0,20	0,31	2,62	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	4,09
2012	0,92	0,22	0,30	2,81	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	4,35
2013	0,91	0,23	0,27	2,83	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	4,38
2014	0,90	0,24	0,26	2,83	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	4,39
2015	0,89	0,25	0,26	2,80	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	4,38
2016	0,88	0,26	0,26	2,74	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	4,37
2017	0,87	0,27	0,27	2,66	0,25	0,01	0,00	0,00	0,00	4,34
2018	0,86	0,28	0,28	2,57	0,30	0,01	0,00	0,00	0,00	4,30
2019	0,86	0,29	0,30	2,45	0,34	0,01	0,00	0,00	0,00	4,25
2020	0,85	0,30	0,31	2,32	0,39	0,02	0,00	0,00	0,00	4,19
2021	0,96	0,35	0,38	2,51	0,51	0,02	0,01	0,00	0,00	4,74
2022	0,95	0,36	0,41	2,34	0,57	0,03	0,01	0,00	0,00	4,66
2023	0,94	0,37	0,44	2,16	0,63	0,04	0,01	0,00	0,00	4,58
2024	0,93	0,37	0,46	1,97	0,69	0,05	0,01	0,00	0,00	4,49
2025	0,92	0,38	0,49	1,79	0,74	0,06	0,01	0,00	0,00	4,40
2026	0,91	0,39	0,52	1,62	0,79	0,07	0,02	0,00	0,00	4,31
2027	0,91	0,39	0,54	1,45	0,83	0,08	0,02	0,00	0,00	4,22
2028	0,90	0,39	0,57	1,30	0,86	0,09	0,03	0,00	0,00	4,14
2029	0,89	0,40	0,60	1,16	0,87	0,11	0,03	0,00	0,00	4,06
2030	0,89	0,40	0,63	1,05	0,87	0,13	0,04	0,00	0,00	4,00

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,30	0,14	0,34	0,78	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73
2007	0,29	0,14	0,35	0,72	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70
2008	0,29	0,14	0,35	0,67	0,23	0,01	0,00	0,00	0,00	1,68
2009	0,29	0,13	0,35	0,61	0,26	0,01	0,00	0,00	0,00	1,65
2010	0,28	0,13	0,34	0,56	0,29	0,01	0,00	0,00	0,00	1,62
2011	0,28	0,13	0,34	0,53	0,31	0,02	0,00	0,00	0,00	1,60
2012	0,27	0,12	0,33	0,51	0,32	0,02	0,00	0,00	0,00	1,58
2013	0,27	0,12	0,32	0,51	0,32	0,03	0,01	0,00	0,00	1,57
2014	0,26	0,12	0,31	0,52	0,31	0,04	0,01	0,00	0,00	1,57
2015	0,26	0,12	0,29	0,55	0,29	0,05	0,01	0,00	0,00	1,57
2016	0,25	0,12	0,28	0,58	0,26	0,06	0,01	0,00	0,00	1,57
2017	0,25	0,11	0,27	0,62	0,23	0,08	0,02	0,00	0,00	1,57
2018	0,24	0,11	0,26	0,65	0,19	0,09	0,02	0,00	0,00	1,57
2019	0,24	0,11	0,25	0,69	0,16	0,10	0,02	0,00	0,00	1,58
2020	0,23	0,11	0,24	0,72	0,13	0,12	0,03	0,00	0,00	1,58
2021	0,23	0,11	0,23	0,75	0,10	0,12	0,04	0,00	0,00	1,58
2022	0,22	0,11	0,23	0,77	0,08	0,13	0,05	0,00	0,00	1,59
2023	0,21	0,11	0,22	0,78	0,07	0,13	0,06	0,00	0,00	1,59
2024	0,21	0,11	0,22	0,80	0,07	0,13	0,07	0,00	0,00	1,60
2025	0,20	0,11	0,22	0,80	0,07	0,12	0,08	0,00	0,00	1,61
2026	0,20	0,11	0,22	0,80	0,08	0,11	0,10	0,00	0,00	1,62
2027	0,19	0,12	0,22	0,80	0,08	0,10	0,11	0,00	0,00	1,63
2028	0,18	0,12	0,22	0,79	0,09	0,09	0,13	0,00	0,00	1,63
2029	0,18	0,12	0,23	0,78	0,10	0,08	0,15	0,00	0,00	1,63
2030	0,17	0,12	0,23	0,77	0,11	0,06	0,17	0,00	0,00	1,63

2.10 Luxemburg

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,07
2007	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,07
2008	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,07
2009	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,07
2010	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,07
2011	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,07
2012	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,10
2013	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,10
2014	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,10
2015	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,10
2016	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,10
2017	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,10
2018	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,10
2019	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,10
2020	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,10
2021	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,12
2022	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,12
2023	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,12
2024	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,12
2025	0,02	0,01	0,03	0,02	0,05	0,12
2026	0,02	0,01	0,03	0,02	0,05	0,12
2027	0,02	0,01	0,03	0,02	0,05	0,12
2028	0,02	0,01	0,03	0,02	0,05	0,12
2029	0,02	0,01	0,03	0,02	0,05	0,12
2030	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,12

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
2007	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
2008	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
2009	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
2010	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
2011	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
2012	0,01	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
2013	0,01	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
2014	0,01	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
2015	0,01	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
2016	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
2017	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
2018	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
2019	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
2020	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
2021	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2022	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2023	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2024	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2025	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2026	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08
2027	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08
2028	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08
2029	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08
2030	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
2007	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
2008	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
2009	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
2010	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
2011	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
2012	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
2013	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
2014	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
2015	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
2016	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
2017	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
2018	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
2019	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
2020	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
2021	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
2022	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
2023	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
2024	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
2025	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
2026	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
2027	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
2028	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04
2029	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04
2030	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04

2.11 Niederlande

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,29	0,19	0,16	0,09	0,23	0,95
2007	0,29	0,19	0,16	0,09	0,23	0,97
2008	0,30	0,19	0,16	0,09	0,24	0,98
2009	0,31	0,19	0,16	0,10	0,24	0,99
2010	0,31	0,19	0,17	0,10	0,24	1,01
2011	0,32	0,19	0,17	0,10	0,24	1,02
2012	0,42	0,25	0,22	0,13	0,31	1,33
2013	0,42	0,25	0,22	0,13	0,31	1,34
2014	0,42	0,25	0,22	0,13	0,32	1,35
2015	0,43	0,25	0,22	0,13	0,32	1,35
2016	0,43	0,26	0,22	0,13	0,32	1,35
2017	0,42	0,26	0,22	0,13	0,32	1,35
2018	0,42	0,26	0,22	0,13	0,32	1,35
2019	0,41	0,26	0,22	0,13	0,33	1,35
2020	0,41	0,26	0,22	0,13	0,33	1,34
2021	0,46	0,30	0,26	0,15	0,38	1,55
2022	0,45	0,30	0,26	0,15	0,38	1,53
2023	0,44	0,30	0,26	0,14	0,39	1,52
2024	0,42	0,30	0,26	0,14	0,39	1,51
2025	0,41	0,30	0,25	0,14	0,39	1,49
2026	0,39	0,29	0,25	0,14	0,40	1,48
2027	0,38	0,29	0,25	0,13	0,40	1,45
2028	0,36	0,29	0,25	0,14	0,40	1,44
2029	0,35	0,29	0,25	0,14	0,40	1,42
2030	0,33	0,29	0,25	0,13	0,40	1,40

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,10	0,07	0,12	0,42	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72
2007	0,10	0,07	0,11	0,44	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73
2008	0,10	0,07	0,10	0,46	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74
2009	0,10	0,08	0,09	0,47	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76
2010	0,10	0,08	0,08	0,48	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77
2011	0,10	0,08	0,08	0,49	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78
2012	0,12	0,11	0,10	0,64	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02
2013	0,12	0,11	0,09	0,64	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03
2014	0,12	0,12	0,09	0,64	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03
2015	0,12	0,12	0,09	0,62	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03
2016	0,12	0,12	0,09	0,61	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	1,03
2017	0,12	0,13	0,09	0,59	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	1,03
2018	0,12	0,13	0,09	0,56	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	1,03
2019	0,12	0,13	0,10	0,53	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	1,02
2020	0,12	0,13	0,10	0,50	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	1,01
2021	0,13	0,16	0,12	0,55	0,18	0,02	0,00	0,00	0,00	1,16
2022	0,13	0,16	0,13	0,51	0,19	0,03	0,00	0,00	0,00	1,15
2023	0,13	0,16	0,14	0,47	0,20	0,03	0,00	0,00	0,00	1,13
2024	0,13	0,16	0,14	0,43	0,20	0,04	0,01	0,00	0,00	1,12
2025	0,13	0,16	0,15	0,40	0,21	0,04	0,01	0,00	0,00	1,10
2026	0,13	0,17	0,16	0,37	0,21	0,05	0,01	0,00	0,00	1,08
2027	0,12	0,16	0,16	0,34	0,20	0,06	0,01	0,00	0,00	1,05
2028	0,12	0,17	0,17	0,31	0,19	0,07	0,01	0,00	0,00	1,04
2029	0,12	0,17	0,17	0,29	0,18	0,07	0,02	0,00	0,00	1,02
2030	0,12	0,17	0,18	0,28	0,17	0,08	0,02	0,00	0,00	1,00

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,03	0,05	0,07	0,15	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35
2007	0,03	0,05	0,07	0,14	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35
2008	0,03	0,04	0,07	0,13	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35
2009	0,03	0,04	0,07	0,11	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,36
2010	0,03	0,04	0,07	0,11	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,36
2011	0,03	0,04	0,07	0,10	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,36
2012	0,03	0,04	0,07	0,10	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,36
2013	0,03	0,04	0,07	0,10	0,11	0,02	0,00	0,00	0,00	0,36
2014	0,03	0,04	0,06	0,10	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,37
2015	0,02	0,04	0,06	0,10	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00	0,37
2016	0,02	0,04	0,06	0,11	0,09	0,04	0,00	0,00	0,00	0,37
2017	0,02	0,04	0,06	0,12	0,08	0,05	0,01	0,00	0,00	0,37
2018	0,02	0,04	0,05	0,12	0,07	0,06	0,01	0,00	0,00	0,37
2019	0,02	0,04	0,05	0,13	0,06	0,07	0,01	0,00	0,00	0,38
2020	0,02	0,04	0,05	0,14	0,05	0,07	0,01	0,00	0,00	0,38
2021	0,02	0,04	0,05	0,14	0,04	0,08	0,01	0,00	0,00	0,38
2022	0,02	0,04	0,05	0,15	0,03	0,08	0,02	0,00	0,00	0,38
2023	0,02	0,04	0,05	0,15	0,03	0,08	0,02	0,00	0,00	0,39
2024	0,02	0,04	0,05	0,15	0,03	0,08	0,02	0,00	0,00	0,39
2025	0,02	0,04	0,05	0,15	0,03	0,08	0,03	0,00	0,00	0,39
2026	0,02	0,04	0,05	0,15	0,03	0,07	0,03	0,00	0,00	0,39
2027	0,02	0,04	0,05	0,15	0,03	0,07	0,04	0,00	0,00	0,39
2028	0,02	0,04	0,05	0,15	0,03	0,06	0,05	0,00	0,00	0,40
2029	0,02	0,04	0,05	0,15	0,04	0,05	0,05	0,00	0,00	0,40
2030	0,02	0,04	0,05	0,15	0,04	0,04	0,06	0,00	0,00	0,40

2.12 Portugal

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,02	0,03	0,02	0,01	0,05	0,13
2007	0,02	0,03	0,02	0,01	0,05	0,13
2008	0,02	0,03	0,02	0,01	0,05	0,13
2009	0,02	0,03	0,02	0,01	0,05	0,13
2010	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,14
2011	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,14
2012	0,03	0,04	0,03	0,02	0,07	0,18
2013	0,03	0,04	0,03	0,02	0,07	0,19
2014	0,03	0,04	0,03	0,02	0,07	0,19
2015	0,03	0,04	0,03	0,02	0,07	0,19
2016	0,03	0,04	0,03	0,02	0,07	0,19
2017	0,03	0,04	0,03	0,02	0,08	0,20
2018	0,03	0,04	0,03	0,02	0,08	0,20
2019	0,03	0,04	0,03	0,02	0,08	0,20
2020	0,03	0,04	0,03	0,02	0,08	0,20
2021	0,03	0,05	0,04	0,03	0,09	0,24
2022	0,03	0,05	0,04	0,03	0,09	0,24
2023	0,03	0,05	0,04	0,03	0,09	0,24
2024	0,04	0,05	0,04	0,03	0,09	0,24
2025	0,04	0,05	0,04	0,03	0,10	0,25
2026	0,04	0,05	0,04	0,03	0,10	0,25
2027	0,04	0,05	0,04	0,03	0,10	0,25
2028	0,04	0,05	0,04	0,03	0,10	0,25
2029	0,04	0,05	0,04	0,03	0,10	0,25
2030	0,04	0,05	0,04	0,03	0,09	0,25

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,01	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2007	0,01	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2008	0,01	0,01	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2009	0,01	0,01	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2010	0,01	0,01	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2011	0,01	0,01	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
2012	0,01	0,01	0,01	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11
2013	0,01	0,01	0,01	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11
2014	0,01	0,01	0,01	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
2015	0,01	0,01	0,01	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
2016	0,01	0,01	0,01	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
2017	0,01	0,01	0,01	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
2018	0,01	0,01	0,01	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
2019	0,01	0,01	0,01	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
2020	0,01	0,01	0,01	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
2021	0,01	0,01	0,02	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
2022	0,01	0,01	0,02	0,06	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
2023	0,01	0,01	0,02	0,06	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15
2024	0,01	0,01	0,02	0,05	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15
2025	0,01	0,01	0,02	0,05	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15
2026	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15
2027	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15
2028	0,01	0,01	0,03	0,03	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15
2029	0,01	0,01	0,03	0,03	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15
2030	0,01	0,01	0,03	0,03	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,15

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,00	0,01	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
2007	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
2008	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
2009	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2010	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2011	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2012	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
2013	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08
2014	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08
2015	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09
2016	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09
2017	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,09
2018	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,09
2019	0,00	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,09
2020	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09
2021	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09
2022	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09
2023	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09
2024	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09
2025	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09
2026	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,09
2027	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,09
2028	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,09
2029	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,09
2030	0,00	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,09

2.13 Spanien

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,13	0,17	0,13	0,09	0,42	0,94
2007	0,13	0,18	0,13	0,09	0,43	0,96
2008	0,13	0,18	0,13	0,10	0,43	0,97
2009	0,13	0,18	0,14	0,10	0,44	0,99
2010	0,14	0,18	0,14	0,10	0,44	1,01
2011	0,14	0,19	0,15	0,11	0,45	1,02
2012	0,18	0,24	0,19	0,14	0,59	1,34
2013	0,18	0,24	0,20	0,14	0,60	1,36
2014	0,18	0,24	0,20	0,14	0,61	1,38
2015	0,18	0,25	0,20	0,15	0,62	1,39
2016	0,18	0,25	0,20	0,15	0,63	1,41
2017	0,18	0,25	0,20	0,15	0,64	1,42
2018	0,18	0,25	0,20	0,15	0,66	1,44
2019	0,18	0,25	0,20	0,15	0,67	1,45
2020	0,18	0,25	0,20	0,14	0,68	1,46
2021	0,21	0,29	0,24	0,17	0,81	1,71
2022	0,21	0,29	0,23	0,17	0,82	1,72
2023	0,21	0,29	0,23	0,16	0,84	1,74
2024	0,21	0,29	0,23	0,16	0,85	1,75
2025	0,21	0,29	0,23	0,16	0,87	1,76
2026	0,21	0,30	0,23	0,16	0,88	1,78
2027	0,21	0,30	0,23	0,16	0,89	1,79
2028	0,21	0,30	0,23	0,16	0,90	1,80
2029	0,21	0,30	0,23	0,16	0,91	1,81
2030	0,21	0,30	0,23	0,16	0,92	1,81

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,09	0,01	0,08	0,32	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51
2007	0,09	0,01	0,07	0,34	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
2008	0,09	0,01	0,07	0,36	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54
2009	0,09	0,01	0,06	0,38	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55
2010	0,09	0,01	0,05	0,39	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56
2011	0,09	0,01	0,05	0,40	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57
2012	0,12	0,02	0,05	0,53	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76
2013	0,11	0,02	0,05	0,53	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76
2014	0,11	0,02	0,05	0,53	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77
2015	0,11	0,02	0,05	0,52	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77
2016	0,11	0,02	0,05	0,51	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,78
2017	0,11	0,02	0,05	0,49	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,78
2018	0,11	0,02	0,06	0,47	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,78
2019	0,11	0,02	0,06	0,45	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,78
2020	0,10	0,02	0,06	0,42	0,14	0,02	0,00	0,00	0,00	0,78
2021	0,12	0,03	0,08	0,46	0,19	0,02	0,00	0,00	0,00	0,90
2022	0,12	0,03	0,08	0,43	0,21	0,03	0,01	0,00	0,00	0,90
2023	0,12	0,03	0,09	0,39	0,23	0,04	0,01	0,00	0,00	0,90
2024	0,12	0,03	0,09	0,36	0,25	0,04	0,01	0,00	0,00	0,90
2025	0,11	0,03	0,10	0,33	0,27	0,05	0,01	0,00	0,00	0,90
2026	0,11	0,03	0,10	0,29	0,28	0,06	0,01	0,00	0,00	0,90
2027	0,11	0,03	0,11	0,26	0,29	0,07	0,02	0,00	0,00	0,89
2028	0,11	0,03	0,11	0,24	0,30	0,09	0,02	0,00	0,00	0,89
2029	0,11	0,03	0,11	0,21	0,30	0,10	0,03	0,00	0,00	0,89
2030	0,11	0,03	0,12	0,19	0,30	0,11	0,03	0,00	0,00	0,89

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,07	0,03	0,13	0,31	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64
2007	0,07	0,03	0,13	0,28	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,64
2008	0,07	0,02	0,13	0,26	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,65
2009	0,07	0,02	0,13	0,24	0,18	0,01	0,00	0,00	0,00	0,65
2010	0,06	0,02	0,13	0,22	0,20	0,02	0,00	0,00	0,00	0,66
2011	0,06	0,02	0,13	0,21	0,21	0,03	0,00	0,00	0,00	0,67
2012	0,06	0,02	0,12	0,21	0,22	0,04	0,00	0,00	0,00	0,68
2013	0,06	0,02	0,12	0,21	0,22	0,05	0,01	0,00	0,00	0,69
2014	0,06	0,02	0,12	0,21	0,22	0,06	0,01	0,00	0,00	0,70
2015	0,06	0,02	0,11	0,22	0,20	0,08	0,01	0,00	0,00	0,72
2016	0,06	0,02	0,11	0,24	0,19	0,10	0,01	0,00	0,00	0,73
2017	0,06	0,02	0,10	0,26	0,16	0,12	0,02	0,00	0,00	0,74
2018	0,06	0,02	0,10	0,27	0,14	0,14	0,02	0,00	0,00	0,76
2019	0,06	0,02	0,10	0,29	0,12	0,16	0,03	0,00	0,00	0,77
2020	0,06	0,02	0,09	0,30	0,09	0,18	0,04	0,00	0,00	0,79
2021	0,05	0,02	0,09	0,31	0,08	0,20	0,05	0,00	0,00	0,80
2022	0,05	0,02	0,09	0,32	0,06	0,21	0,06	0,00	0,00	0,82
2023	0,05	0,02	0,09	0,33	0,05	0,21	0,07	0,00	0,00	0,83
2024	0,05	0,02	0,09	0,34	0,05	0,21	0,09	0,00	0,00	0,85
2025	0,05	0,02	0,09	0,34	0,05	0,20	0,10	0,00	0,00	0,86
2026	0,05	0,02	0,09	0,35	0,06	0,19	0,12	0,00	0,00	0,87
2027	0,05	0,02	0,09	0,35	0,06	0,17	0,15	0,00	0,00	0,89
2028	0,05	0,02	0,09	0,35	0,07	0,15	0,17	0,00	0,00	0,90
2029	0,05	0,02	0,09	0,34	0,08	0,13	0,19	0,00	0,00	0,91
2030	0,04	0,02	0,09	0,34	0,09	0,11	0,22	0,00	0,00	0,91

2.14 Schweden

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,15	0,10	0,15	0,11	0,16	0,65
2007	0,15	0,10	0,15	0,11	0,16	0,66
2008	0,15	0,10	0,15	0,11	0,15	0,66
2009	0,15	0,10	0,15	0,11	0,15	0,67
2010	0,15	0,10	0,15	0,11	0,15	0,67
2011	0,16	0,10	0,16	0,11	0,15	0,67
2012	0,18	0,11	0,18	0,13	0,17	0,78
2013	0,18	0,11	0,18	0,13	0,17	0,78
2014	0,18	0,11	0,18	0,13	0,17	0,78
2015	0,18	0,11	0,18	0,13	0,17	0,78
2016	0,18	0,11	0,18	0,13	0,17	0,77
2017	0,18	0,11	0,18	0,13	0,18	0,77
2018	0,18	0,11	0,17	0,12	0,18	0,76
2019	0,18	0,11	0,17	0,12	0,18	0,76
2020	0,18	0,11	0,17	0,12	0,18	0,75
2021	0,19	0,12	0,18	0,13	0,20	0,83
2022	0,19	0,12	0,18	0,13	0,20	0,82
2023	0,18	0,12	0,18	0,13	0,20	0,81
2024	0,18	0,12	0,17	0,12	0,21	0,80
2025	0,17	0,12	0,17	0,12	0,21	0,79
2026	0,17	0,12	0,17	0,12	0,21	0,78
2027	0,16	0,12	0,16	0,11	0,22	0,77
2028	0,15	0,12	0,16	0,11	0,22	0,76
2029	0,15	0,12	0,16	0,11	0,22	0,76
2030	0,14	0,12	0,16	0,11	0,23	0,75

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,10	0,03	0,09	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
2007	0,10	0,03	0,08	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
2008	0,10	0,04	0,07	0,30	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51
2009	0,10	0,04	0,06	0,31	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51
2010	0,10	0,04	0,06	0,32	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52
2011	0,10	0,04	0,05	0,32	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52
2012	0,11	0,05	0,06	0,37	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
2013	0,11	0,05	0,06	0,37	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
2014	0,11	0,05	0,06	0,36	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
2015	0,11	0,05	0,06	0,36	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
2016	0,11	0,05	0,06	0,35	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
2017	0,10	0,06	0,06	0,33	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59
2018	0,10	0,06	0,07	0,32	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59
2019	0,10	0,06	0,07	0,30	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
2020	0,10	0,06	0,07	0,28	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57
2021	0,11	0,07	0,09	0,29	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62
2022	0,11	0,07	0,09	0,27	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61
2023	0,11	0,07	0,09	0,25	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
2024	0,11	0,07	0,10	0,22	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,59
2025	0,11	0,07	0,10	0,20	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,58
2026	0,11	0,07	0,11	0,19	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,57
2027	0,11	0,07	0,11	0,17	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,55
2028	0,11	0,07	0,12	0,16	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,54
2029	0,11	0,07	0,12	0,15	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,53
2030	0,11	0,07	0,13	0,14	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,53

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,03	0,02	0,06	0,10	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
2007	0,03	0,02	0,06	0,09	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
2008	0,03	0,02	0,06	0,08	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
2009	0,03	0,02	0,06	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
2010	0,03	0,02	0,06	0,07	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
2011	0,03	0,02	0,06	0,07	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
2012	0,03	0,02	0,06	0,07	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
2013	0,03	0,02	0,06	0,07	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
2014	0,03	0,02	0,06	0,07	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,23
2015	0,03	0,02	0,06	0,07	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,23
2016	0,03	0,02	0,05	0,08	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,23
2017	0,03	0,02	0,05	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,23
2018	0,03	0,02	0,05	0,09	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,23
2019	0,03	0,02	0,05	0,09	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,23
2020	0,02	0,02	0,05	0,10	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,23
2021	0,02	0,02	0,05	0,10	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,24
2022	0,02	0,02	0,04	0,11	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,24
2023	0,02	0,02	0,04	0,11	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,24
2024	0,02	0,02	0,04	0,11	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,24
2025	0,02	0,02	0,04	0,11	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,25
2026	0,02	0,02	0,04	0,12	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,25
2027	0,02	0,02	0,04	0,12	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,26
2028	0,02	0,02	0,05	0,12	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,26
2029	0,02	0,02	0,05	0,11	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,26
2030	0,02	0,02	0,05	0,11	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,26

2.15 Großbritannien

Gesamtes energetisches Sanierungspotenzial zur Reduktion der Raumwärme nach Bauteilen:

	Fassade	Fenster	Dach	Keller	Heizung	Gesamt
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	1,05	0,68	1,17	0,67	1,23	4,79
2007	1,06	0,68	1,17	0,67	1,23	4,81
2008	1,07	0,69	1,18	0,68	1,23	4,84
2009	1,08	0,69	1,18	0,68	1,22	4,86
2010	1,08	0,70	1,19	0,69	1,22	4,88
2011	1,09	0,70	1,19	0,69	1,22	4,90
2012	1,42	0,92	1,56	0,91	1,58	6,39
2013	1,43	0,92	1,57	0,91	1,58	6,42
2014	1,43	0,93	1,57	0,92	1,59	6,44
2015	1,44	0,93	1,58	0,92	1,59	6,46
2016	1,44	0,93	1,58	0,92	1,60	6,47
2017	1,44	0,93	1,59	0,92	1,61	6,49
2018	1,44	0,93	1,59	0,92	1,62	6,49
2019	1,43	0,93	1,59	0,92	1,63	6,50
2020	1,43	0,93	1,58	0,92	1,64	6,50
2021	1,65	1,08	1,84	1,07	1,92	7,55
2022	1,65	1,07	1,83	1,06	1,93	7,54
2023	1,64	1,07	1,82	1,06	1,95	7,54
2024	1,63	1,07	1,81	1,05	1,97	7,53
2025	1,62	1,07	1,80	1,04	2,00	7,53
2026	1,61	1,07	1,79	1,03	2,02	7,52
2027	1,60	1,06	1,78	1,02	2,04	7,52
2028	1,60	1,07	1,77	1,01	2,06	7,51
2029	1,59	1,07	1,76	1,00	2,08	7,50
2030	1,59	1,07	1,75	0,99	2,10	7,50

Raumwärmeeinsparpotenziale durch Dämmung der Gebäudehülle:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	1,08	0,34	0,77	1,35	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	3,56
2007	1,07	0,35	0,68	1,46	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	3,59
2008	1,07	0,37	0,60	1,55	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	3,61
2009	1,06	0,38	0,52	1,63	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	3,64
2010	1,05	0,40	0,46	1,70	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	3,66
2011	1,04	0,42	0,41	1,75	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	3,68
2012	1,34	0,57	0,48	2,32	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	4,81
2013	1,32	0,60	0,44	2,35	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	4,83
2014	1,31	0,62	0,42	2,34	0,15	0,01	0,00	0,00	0,00	4,85
2015	1,29	0,65	0,41	2,32	0,18	0,01	0,00	0,00	0,00	4,87
2016	1,28	0,67	0,41	2,28	0,22	0,01	0,00	0,00	0,00	4,87
2017	1,27	0,70	0,42	2,22	0,26	0,02	0,00	0,00	0,00	4,88
2018	1,25	0,72	0,44	2,14	0,30	0,02	0,00	0,00	0,00	4,88
2019	1,24	0,75	0,47	2,05	0,34	0,03	0,00	0,00	0,00	4,87
2020	1,22	0,77	0,50	1,94	0,39	0,03	0,01	0,00	0,00	4,86
2021	1,40	0,92	0,61	2,12	0,52	0,05	0,01	0,00	0,00	5,63
2022	1,39	0,94	0,65	1,98	0,58	0,06	0,01	0,00	0,00	5,61
2023	1,37	0,96	0,70	1,83	0,64	0,07	0,01	0,00	0,00	5,59
2024	1,36	0,98	0,74	1,68	0,70	0,09	0,02	0,00	0,00	5,56
2025	1,35	1,00	0,78	1,53	0,75	0,10	0,02	0,00	0,00	5,53
2026	1,34	1,01	0,83	1,38	0,80	0,12	0,03	0,00	0,00	5,50
2027	1,32	1,03	0,87	1,24	0,83	0,14	0,04	0,00	0,00	5,47
2028	1,31	1,03	0,91	1,11	0,86	0,17	0,04	0,00	0,00	5,44
2029	1,30	1,04	0,96	1,00	0,87	0,19	0,05	0,00	0,00	5,42
2030	1,30	1,05	1,00	0,91	0,87	0,22	0,07	0,00	0,00	5,40

Einsparpotenziale durch Austausch der Heizkessel:

	vor 1919	1919 bis 1945	1946 bis 1960	1961 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2001	2002 bis 2010	2011 bis 2020	2021 bis 2030	Summe
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
2006	0,36	0,31	0,45	0,56	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	1,84
2007	0,36	0,30	0,46	0,52	0,19	0,01	0,00	0,00	0,00	1,84
2008	0,36	0,30	0,47	0,48	0,22	0,01	0,00	0,00	0,00	1,84
2009	0,36	0,30	0,47	0,45	0,25	0,01	0,00	0,00	0,00	1,84
2010	0,36	0,29	0,46	0,41	0,28	0,02	0,00	0,00	0,00	1,83
2011	0,36	0,29	0,46	0,39	0,30	0,03	0,00	0,00	0,00	1,83
2012	0,35	0,28	0,45	0,38	0,31	0,04	0,00	0,00	0,00	1,82
2013	0,35	0,28	0,44	0,39	0,31	0,05	0,01	0,00	0,00	1,83
2014	0,35	0,28	0,43	0,40	0,30	0,07	0,01	0,00	0,00	1,83
2015	0,34	0,28	0,42	0,42	0,29	0,08	0,01	0,00	0,00	1,84
2016	0,34	0,27	0,40	0,45	0,26	0,11	0,02	0,00	0,00	1,85
2017	0,33	0,27	0,39	0,48	0,23	0,13	0,02	0,00	0,00	1,85
2018	0,33	0,27	0,37	0,51	0,20	0,15	0,03	0,00	0,00	1,86
2019	0,32	0,27	0,36	0,54	0,16	0,17	0,03	0,00	0,00	1,88
2020	0,32	0,27	0,35	0,57	0,13	0,20	0,04	0,00	0,00	1,89
2021	0,31	0,28	0,34	0,60	0,11	0,21	0,05	0,00	0,00	1,90
2022	0,31	0,28	0,34	0,62	0,09	0,22	0,07	0,00	0,00	1,92
2023	0,30	0,28	0,33	0,64	0,08	0,23	0,08	0,00	0,00	1,94
2024	0,30	0,29	0,33	0,65	0,07	0,22	0,10	0,00	0,00	1,96
2025	0,29	0,29	0,33	0,66	0,08	0,21	0,12	0,00	0,00	1,98
2026	0,28	0,29	0,34	0,67	0,08	0,20	0,14	0,00	0,00	2,01
2027	0,28	0,30	0,34	0,67	0,09	0,18	0,17	0,00	0,00	2,03
2028	0,27	0,30	0,35	0,67	0,10	0,16	0,20	0,00	0,00	2,05
2029	0,26	0,30	0,36	0,67	0,11	0,14	0,22	0,00	0,00	2,07
2030	0,26	0,31	0,37	0,66	0,13	0,12	0,25	0,00	0,00	2,08

Sachwortverzeichnis

A		Gesamt-Sollsanierungsrate ·	102
Alterungsexponent ·	88	Gesamtenergieeffizienz ·	2
Alterungsprozess ·	32	H	
Alterungsverhalten ·	32	Heizgrenztemperatur ·	57
Ausfallfreie Zeit ·	88	Heizungsdatenbasis ·	53
Ausfallrate ·	87	I	
Ausfallwahrscheinlichkeit ·	3	Ist-Energieeinsparung ·	113
B		Istsanierungsrate ·	111
Badewannenkurve ·	87	K	
Bauteilflächen ·	52, 65	Kastenmodell ·	45
Bauteilsanierung ·	3	Klimaschutzpolitik ·	43
Bottom-Up Ansatz ·	42	Klimazonen ·	50
D		Kohortenmodell ·	32
Datenbasis ·	29	Kyoto-Protokoll ·	149
Deterministischer Ansatz ·	40	L	
E		Leerstand ·	141
Effizienz der Sanierungen ·	120	lineares Bestandsmodell ·	53
EN 12831 ·	42	M	
EN 13790 ·	42	Modernisierungsmarkt ·	53
EN 832 ·	42	N	
Energieausweis ·	155	Nutzerverhalten ·	31
Energiebezugsfläche ·	59	P	
Energieeffizienz ·	2	Post-Kyoto-Abkommen ·	149
Energiekennwerte ·	61, 78	Potenzialausnutzung ·	120
EU Burden Sharing ·	150	Potenzialausnutzungen ·	201
F		R	
Flächenschätzverfahren ·	65	Referenzszenario ·	177
G		Remanenzeffekt ·	133
Gebäude-Datenbasis ·	42	Renovierungsintervall ·	37
Gebäudetypologie ·	45		
Gesamt-Soll-Energieeinsparung ·	108		

Sachwortverzeichnis

Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden ·	129	Temperaturbereinigung ·	65
S		Top-Down Ansatzes ·	42
Sanierungshäufigkeit ·	32	Transmission ·	71
Sanierungsmodell ·	4	Typgebäude ·	42
Sanierungsparameter ·	42	U	
Sanierungszyklus ·	32	Überlebenswahrscheinlichkeit ·	32
Simulationsmodell ·	31	UN Klimarahmenkonvention ·	149
Simulationsrechnung ·	34	V	
Soll-Energieeinsparung ·	104	Vertrauensbereich ·	90
Sollsanierungsrate ·	93	Vollzug ·	162
Statistische Momenten – Methode ·	41	W	
Szenario "EU-Gebäude- und Effizienzrichtlinie" ·	179	Wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz ·	39
Szenario „Forcierte energetische Sanierung und verstärkter Einsatz von Erneuerbaren" ·	188	Wärmedurchgangskoeffizient ·	69
Szenarioanalyse ·	4	Wärmeströme ·	68
Szenariotechnik ·	56	Weibull-Verteilungen ·	41
T		Wohn- und Bauteilflächen ·	64
Technischen Lebensdauer ·	3	Wohnflächentabellen ·	51
		Z	
		Zeitreihenanalyse ·	42

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Institut für Energieforschung (IEF-STE) des Forschungszentrums Jülich. Für die ausgezeichneten Arbeitsbedingungen sowie die Gewährung eines Doktorandenstipendiums gilt mein besonderer Dank dem Leiter Herrn Dipl.-Math. Hake.

Für die fachliche Betreuung meiner Dissertation möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. Kleemann bedanken, dessen Anregungen wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beitrugen. Dank gilt ebenfalls meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Kollmann für die wertvollen Diskussionen und Kommentare. Herrn Prof. Dr. Wagner von der Technischen Universität München danke ich für die Übernahme des Koreferates.

Eine Dissertation ist zwar das Werk eines Einzelnen, kann aber ohne vielfältige Unterstützung nicht gelingen. Mein Dank gilt daher allen Mitarbeitern des IEF-STE, die mich in unterschiedlichster Art und Weise unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt jedoch meiner Freundin Tanja Ostheller und meinen Eltern, die zu jeder Zeit für mich da waren und mich stets mit voller Kraft unterstützt haben.

1. **Einsatz von multispektralen Satellitenbilddaten in der Wasserhaushalts- und Stoffstrommodellierung – dargestellt am Beispiel des Rureinzugsgebietes**
von C. Montzka (2008), XX, 238 Seiten
ISBN: 978-3-89336-508-1
2. **Ozone Production in the Atmosphere Simulation Chamber SAPHIR**
by C. A. Richter (2008), XIV, 147 pages
ISBN: 978-3-89336-513-5
3. **Entwicklung neuer Schutz- und Kontaktierungsschichten für Hochtemperatur-Brennstoffzellen**
von T. Kiefer (2008), 138 Seiten
ISBN: 978-3-89336-514-2
4. **Optimierung der Reflektivität keramischer Wärmedämmschichten aus Yttrium-teilstabilisiertem Zirkoniumdioxid für den Einsatz auf metallischen Komponenten in Gasturbinen**
von A. Stuke (2008), X, 201 Seiten
ISBN: 978-3-89336-515-9
5. **Lichtstreuende Oberflächen, Schichten und Schichtsysteme zur Verbesserung der Lichteinkopplung in Silizium-Dünnschichtsolarzellen**
von M. Berginski (2008), XV, 171 Seiten
ISBN: 978-3-89336-516-6
6. **Politiksznarien für den Klimaschutz IV – Szenarien bis 2030**
hrsg.von P. Markewitz, F. Chr. Matthes (2008), 376 Seiten
ISBN 978-3-89336-518-0
7. **Untersuchungen zum Verschmutzungsverhalten rheinischer Braunkohlen in Kohledampferzeugern**
von A. Schlüter (2008), 164 Seiten
ISBN 978-3-89336-524-1
8. **Inorganic Microporous Membranes for Gas Separation in Fossil Fuel Power Plants**
by G. van der Donk (2008), VI, 120 pages
ISBN: 978-3-89336-525-8
9. **Sinterung von Zirkoniumdioxid-Elektrolyten im Mehrlagenverbund der oxidkeramischen Brennstoffzelle (SOFC)**
von R. Mücke (2008), VI, 165 Seiten
ISBN: 978-3-89336-529-6
10. **Safety Considerations on Liquid Hydrogen**
by K. Verfondern (2008), VIII, 167 pages
ISBN: 978-3-89336-530-2

11. **Kerosinreformierung für Luftfahrtanwendungen**
von R. C. Samsun (2008), VII, 218 Seiten
ISBN: 978-3-89336-531-9
12. **Der 4. Deutsche Wasserstoff Congress 2008 – Tagungsband**
hrsg. von D. Stolten, B. Emonts, Th. Grube (2008), 269 Seiten
ISBN: 978-3-89336-533-3
13. **Organic matter in Late Devonian sediments as an indicator for environmental changes**
by M. Kloppisch (2008), XII, 188 pages
ISBN: 978-3-89336-534-0
14. **Entschwefelung von Mitteldestillaten für die Anwendung in mobilen Brennstoffzellen-Systemen**
von J. Latz (2008), XII, 215 Seiten
ISBN: 978-3-89336-535-7
15. **RED-IMPACT**
Impact of Partitioning, Transmutation and Waste Reduction Technologies on the Final Nuclear Waste Disposal
SYNTHESIS REPORT
ed. by W. von Lensa, R. Nabbi, M. Rossbach (2008), 178 pages
ISBN 978-3-89336-538-8
16. **Ferritic Steel Interconnectors and their Interactions with Ni Base Anodes in Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)**
by J. H. Froitzheim (2008), 169 pages
ISBN: 978-3-89336-540-1
17. **Integrated Modelling of Nutrients in Selected River Basins of Turkey**
Results of a bilateral German-Turkish Research Project
project coord. M. Karpuzcu, F. Wendland (2008), XVI, 183 pages
ISBN: 978-3-89336-541-8
18. **Isotopengeochemische Studien zur klimatischen Ausprägung der Jüngerer Dryas in terrestrischen Archiven Eurasiens**
von J. Parplies (2008), XI, 155 Seiten, Anh.
ISBN: 978-3-89336-542-5
19. **Untersuchungen zur Klimavariabilität auf dem Tibetischen Plateau - Ein Beitrag auf der Basis stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope in Jahrringen von Bäumen waldgrenznaher Standorte**
von J. Griessinger (2008), XIII, 172 Seiten
ISBN: 978-3-89336-544-9

20. **Neutron-Irradiation + Helium Hardening & Embrittlement Modeling of 9%Cr-Steels in an Engineering Perspective (HELENA)**
by R. Chaouadi (2008), VIII, 139 pages
ISBN: 978-3-89336-545-6
21. **Messung und Bewertung von Verkehrsemissionen**
von D. Klemp, B. Mittermaier (2009), ca. 230 Seiten, erscheint in Kürze
ISBN: 978-3-89336-546-3
22. **Verbundvorhaben APAWAGS (AOEV und Wassergenerierung) – Teilprojekt: Brennstoffreformierung – Schlussbericht**
von R. Peters, R. C. Samsun, J. Pasel, Z. Porš, D. Stolten (2008), VI, 106 Seiten
ISBN: 978-3-89336-547-0
23. **FREEVAL**
Evaluation of a Fire Radiative Power Product derived from Meteosat 8/9 and Identification of Operational User Needs
Final Report
project coord. M. Schultz, M. Wooster (2008), 139 pages
ISBN: 978-3-89336-549-4
24. **Untersuchungen zum Alkaliverhalten unter Oxycoal-Bedingungen**
von C. Weber (2008), VII, 143, XII Seiten
ISBN: 978-3-89336-551-7
25. **Grundlegende Untersuchungen zur Freisetzung von Spurstoffen, Heißgaschemie, Korrosionsbeständigkeit keramischer Werkstoffe und Alkalirückhaltung in der Druckkohlenstaubfeuerung**
von M. Müller (2008), 207 Seiten
ISBN: 978-3-89336-552-4
26. **Analytik von ozoninduzierten phenolischen Sekundärmetaboliten in *Nicotiana tabacum* L. cv Bel W3 mittels LC-MS**
von I. Koch (2008), III, V, 153 Seiten
ISBN 978-3-89336-553-1
27. **IEF-3 Report 2009. Grundlagenforschung für die Anwendung**
(2009), ca. 230 Seiten erscheint in Kürze
ISBN: 978-3-89336-554-8
28. **Influence of Composition and Processing in the Oxidation Behavior of MCrAlY-Coatings for TBC Applications**
by J. Toscano (2009), 168 pages
ISBN: 978-3-89336-556-2
29. **Modellgestützte Analyse signifikanter Phosphorbelastungen in hessischen Oberflächengewässern aus diffusen und punktuellen Quellen**
von B. Tetzlaff (2009), 149 Seiten
ISBN: 978-3-89336-557-9

30. **Nickelreaktivlot / Oxidkeramik – Fügungen als elektrisch isolierende Dichtungskonzepte für Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Stacks**
von S. Zügner (2009), 136 Seiten
ISBN: 978-3-89336-558-6
31. **Langzeitbeobachtung der Dosisbelastung der Bevölkerung in radioaktiv kontaminierten Gebieten Weißrusslands – Korma-Studie**
von H. Dederichs, J. Pillath, B. Heuel-Fabianek, P. Hill, R. Lennartz (2009),
Getr. Pag.
ISBN: 978-3-89336-532-3
32. **Herstellung von Hochtemperatur-Brennstoffzellen über physikalische Gasphasenabscheidung**
von N. Jordán Escalona (2009), 148 Seiten
ISBN: 978-3-89336-532-3
33. **Real-time Digital Control of Plasma Position and Shape on the TEXTOR Tokamak**
by M. Mitri (2009), IV, 128 Seiten
ISBN: 978-3-89336-567-8
34. **Freisetzung und Einbindung von Alkalimetallverbindungen in kohle-befeuerten Kombikraftwerken**
von M. Müller (2009), 155 Seiten
ISBN: 978-3-89336-568-5
35. **Kosten von Brennstoffzellensystemen auf Massenbasis in Abhängigkeit von der Absatzmenge**
von J. Werhahn (2009), 242 Seiten
ISBN: 978-3-89336-569-2
36. **Einfluss von Reoxidationszyklen auf die Betriebsfestigkeit von anodengestützten Festoxid-Brennstoffzellen**
von M. Ettler (2009), 138 Seiten
ISBN: 978-3-89336-570-8
37. **Großflächige Plasmaabscheidung von mikrokristallinem Silizium für mikromorphe Dünnschichtsolarmodule**
von T. Kilper (2009), XVII, 154 Seiten
ISBN: 978-3-89336-572-2
38. **Generalized detailed balance theory of solar cells**
von T. Kirchartz (2009), IV, 198 Seiten
ISBN: 978-3-89336-573-9
39. **The Influence of the Dynamic Ergodic Divertor on the Radial Electric Field at the Tokamak TEXTOR**
von J. W. Coenen (2009), xii, 122, XXVI Seiten
ISBN: 978-3-89336-574-6

40. **Sicherheitstechnik im Wandel Nuklearer Systeme**
von K. Nünighoff (2009), viii, 215 Seiten
ISBN: 978-3-89336-578-4
41. **Pulvermetallurgie hochporöser NiTi-Legierungen für Implantat- und Dämpfungsanwendungen**
von M. Köhl (2009), XVII, 199 Seiten
ISBN: 978-3-89336-580-7
42. **Einfluss der Bondcoatzusammensetzung und Herstellungsparameter auf die Lebensdauer von Wärmedämmschichten bei zyklischer Temperaturbelastung**
von M. Subanovic (2009), 188, VI Seiten
ISBN: 978-3-89336-582-1
43. **Oxygen Permeation and Thermo-Chemical Stability of Oxygen Permeation Membrane Materials for the Oxyfuel Process**
by A. J. Ellett (2009), 176 Seiten
ISBN: 978-3-89336-581-4
44. **Korrosion von polykristallinem Aluminiumoxid (PCA) durch Metalljodidschmelzen sowie deren Benetzungseigenschaften**
von S. C. Fischer (2009), 148 Seiten
ISBN: 978-3-89336-584-5
45. **IEF-3 Report 2009. Basic Research for Applications**
(2009), 217 Seiten
ISBN: 978-3-89336-585-2
46. **Verbundvorhaben ELBASYS (Elektrische Basissysteme in einem CFK-Rumpf) - Teilprojekt: Brennstoffzellenabgase zur Tankinertisierung - Schlussbericht**
von R. Peters, J. Latz, J. Pasel, R. C. Samsun, D. Stolten
(2009), xi, 202 Seiten
ISBN: 978-3-89336-587-6
47. **Aging of ¹⁴C-labeled Atrazine Residues in Soil: Location, Characterization and Biological Accessibility**
by N. D. Jablonowski (2009), IX, 104 Seiten
ISBN: 978-3-89336-588-3
48. **Entwicklung eines energetischen Sanierungsmodells für den europäischen Wohngebäudesektor unter dem Aspekt der Erstellung von Szenarien für Energie- und CO₂-Einsparpotenziale bis 2030**
von P. Hansen (2009), XXII, 281 Seiten
ISBN: 978-3-89336-590-6

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 48
ISBN 978-3-89336-590-6

